

**Všb – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky**

**Měření oteplení konstrukčních částí asynchronního motoru při napájení z  
měniče**

**Measurement of Temperature Rise of Selected Design Parts of  
Asynchronous Motor Supplied from Inverter**

**2018**

**Tomáš Hurík**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Hurík**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: Měření oteplení konstrukčních částí asynchronního motoru při napájení z měniče  
Measurement of Temperature Rise of Selected Design Parts of Asynchronous Motor Supplied from Inverter

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor (konstrukční provedení as. motoru, problematika oteplení)
3. Proved'te měření oteplovací křivky vybraných částí as. motoru při napájení z měniče
4. Vyhodnocení naměřených údajů
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- MENTLÍK, Václav, et al. Diagnostika elektrických zařízení, 2008, Praha, BEN
- KOPYLOV, Igor, Petrovič. Stavba elektrických strojů, 1988, Praha, SNTL/MIR
- CIGÁNEK, Ladislav. Stavba elektrických strojů, Praha, 1958, SNTL
- KAČOR, Petr. Vybrané typy elektrických strojů, Ostrava, 2010, VŠB-TU Ostrava
- Katalogy a katalogové listy
- Odborné a technické www stránky
- Technické normy

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kačor, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 2. dubna 2018

.....  
podpis

## **Pod'akovanie**

Týmto by som sa chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Petrovi Kačorovi, Ph.D. za poskytnutie odbornej spolupráce, dodanej literatúry a rád.

## **Abstrakt**

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce je meranie oteplenia konštrukčných častí asynchrónneho motora a vyhotovenie ustálených hodnôt oteplenia z otepľovacích kriviek. Teoretická časť je venovaná samotnému asynchrónnemu stroju. Sú tu popísané základne údaje asynchrónnych strojov ich rozdelenie princíp činnosti, charakteristiky, druhy zaťaženia a tepelné pochody. V praktickej časti bolo hlavným cieľom samotné meranie na asynchrónnom motore, ktorý bol napájaný z frekvenčného meniča. Na konštrukcii motora sú umiestnené štyri tepelné čidla, ktoré po celú dobu merania zaznamenávajú hodnoty, ktoré sú ukladané v textovom editore. Z nameraných hodnôt sú vyhotovené otepľovacie charakteristiky.

## **Kľúčové slová:**

Asynchrónny stroj, asynchrónny motor, otepľovacia charakteristika, konštrukcia ustáleného oteplenia

## **Abstract**

The main objective of this bachelor thesis is to measure the warming of the asynchronous engine structural part and to produce consistent values from the heating curves. The theoretical part is dedicated to the asynchronous engine itself. In the theoretical part are described basic data about asynchronous machines, types of machines, principle of operation, characteristics, types of load and thermal process. In the practical part, the main objective was the measurement itself on an asynchronous engine that was powered by a frequency converter. Four thermal sensors are located on the engine structures, which measure the values throughout the measurement period which are then stored in the text editor. From the measured values are then produced warming characteristics.

## **Keywords:**

Asynchronous machine, asynchronous engine, warming characteristics, construction of steady warming

## Obsah

Zoznam použitých symbolov a skratiek.....	8
Zoznam použitých obrázkov .....	9
Zoznam použitých tabuliek .....	11
Úvod.....	12
1. Asynchrónny stroj .....	13
1.1 Základné údaje o asynchrónnych strojov.....	13
1.1.1 Štítkové údaje.....	14
1.2 Rozdelenie asynchrónnych strojov: .....	14
1.2.1 Podľa premeny energie : .....	14
1.2.2 Podľa usporiadania satorového vinutia : .....	15
1.2.3 Podľa usporiadania rotorového vinutia: .....	15
1.3 Konštrukčné prevedenie asynchrónneho motora .....	15
1.3.1 Stator .....	16
1.3.2 Rotor.....	16
2. Princíp činnosti asynchrónneho motora .....	17
2.1 Vznik ťažnej sily .....	17
2.1.1 Jednofázové vinutie : .....	17
2.2.2 Trojfázové vinutie: .....	18
2.3 Charakteristiky asynchrónneho stroja .....	19
2.3.1 Momentová charakteristika asynchrónneho stroja v motorickom režime.....	20
2.3.2 Charakteristika naprázdno.....	20
2.3.3 Charakteristika na krátko .....	21
3. Druhy zaťaženia asynchrónneho motora.....	22
3.1 Základné druhy zaťaženia:.....	22
3.2 Ostatné druhy zaťaženia: .....	24
4. Popis tepelných pochodov v elektrických strojoch .....	25
4.1 Energetická bilancia asynchrónneho stroja .....	26
4.1.1 Rovnica energetickej bilancie .....	27
4.2 Tepelné pole.....	27
4.3 Druhy oteplenia u elektrických strojov .....	28
4.3.1 Krátkodobé oteplenie .....	28
4.3.2 Dlhodobé oteplenie .....	29
4.3.2 Oteplenie pri prerušovanom chode.....	29
4.3.3 Ustálený stav .....	30
5. Praktická časť .....	31

5.1 Bloková schéma zapojenia .....	31
5.2 Postup merania .....	32
5.2 Umiestnenie teplotných čidiel .....	33
5.2.1 Záznam menovitých hodnôt v priebehu merania .....	33
5.3 Meranie otepľovacej charakteristiky asynchrónneho motora.....	35
5.3.1 Tabuľka zobrazujúca nárast teploty jednotlivých čidiel.....	37
5.3.2 Vynesenie otepľovacích kriviek v štyroch miestach merania teploty .....	38
5.4 Konštrukčné prevedenie ustálenej hodnoty oteplenia .....	39
5.4.1 Tabuľka ustálených hodnôt jednotlivých čidiel .....	41
Záver .....	42
Zoznam použitej literatúry .....	44
Príloha .....	45

## Zoznam použitých symbolov a skratiek

Skrátka/Symbol	Jednotka	Význam
s	[-]	sklz
F	[Nm]	sila
n	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky
n <sub>s</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	synchronne otáčky
p	[-]	počet polových dvojíc
f <sub>l</sub>	[Hz]	frekvencia napájacieho napätia
M	[Nm]	moment motoru
M <sub>max</sub>	[Nm]	maximálny moment motoru
U <sub>n</sub>	[V]	menovité napätie
I	[A]	elektrický prúd
t <sub>z</sub>	[s]	doba zaťaženia
t <sub>k</sub>	[s]	doba pokoja
T <sub>c</sub>	[s]	čas pracovného cyklu
η	[%]	účinnosť
Δθ	[°C]	oteplenie
Δθ <sub>∞</sub>	[°C]	maximálne oteplenie
τ	[s]	časová konštanta
q	[-]	činiteľ krátkodobého preťaženia



## Zoznam použitých obrázkov

Obr. 1 Asynchrónny motor .....	14
Obr. 2 Konštrukcia asynchrónneho motoru v reze .....	16
Obr. 3 Stator elektrického stroja .....	17
Obr. 4 Rotor elektrického stroja .....	17
Obr. 5 Vznik ťažnej sily jednofázového vinutia .....	18
Obr. 6 Vznik ťažnej sily trojfázového vinutia .....	19
Obr. 7 Momentová charakteristika asynchrónneho stroja .....	20
Obr. 8 Momentová charakteristika v motorickom režime .....	21
Obr. 9 Charakteristika naprázdno asynchrónneho motoru .....	22
Obr. 10 Charakteristika nakrátko asynchrónneho motoru .....	22
Obr. 11 Trvalý chod S1 .....	23
Obr. 12 Krátko dobý chod S2 .....	24
Obr. 13 Prerušovaný chod S3.....	24
Obr. 14 Prerušované zaťaženie .....	25
Obr. 15 Otepľovacia a ochladzovacia charakteristika .....	26
Obr. 16 Energetická bilancia asynchrónneho motoru .....	27
Obr. 17 Priebeh oteplenia pri krátkodobom chode .....	29
Obr. 18 Oteplenie pri dlhodobom chode .....	30
Obr. 19 Oteplenie pri prerušovanom chode .....	30
Obr. 20 Schéma zapojenia.....	32
Obr. 21 Asynchrónny motor pripojený pomocou hriadele k dynamometru .....	33
Obr. 22 Rozmiestnenie teplotných čidiel .....	34
Obr. 23 Záznam meraných veličín .....	34
Obr. 24 Charakteristika menovitej hodnoty výkonu .....	35
Obr. 25 Začiatok teplotného priebehu čidiel v čase 245s (4,08 min).....	36

Obr. 26 Pokračovanie teplotného priebehu čidiel v čase 770 s (12,83 min) .....	36
Obr. 27 Pokračovanie teplotného priebehu čidiel v čase 1187 s (19,78 min) .....	37
Obr. 28 Záznam po vypnutí motora 3800s (63,33 min) .....	37
Obr. 29 Priebeh otepľovacích kriviek v čase .....	39
Obr. 30 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s najvyššou teplotou .....	40
Obr. 31 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s druhou najvyššou teplotou .....	40
Obr. 32 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s najnižšou teplotou .....	41
Obr. 33 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s tretou najvyššou teplotou .....	41
Obr. 34 Konštrukcia ustálenej hodnoty oteplenia napájanie z meniča .....	44
Obr. 35 Konštrukcia ustálenej hodnoty oteplenia napájanie zo siete .....	44
Obr. 36 Asynchrónny motor .....	45
Obr. 37 Štítkové hodnoty asynchrónneho motora .....	45
Obr. 38 Štítkové hodnoty dynamometra .....	46
Obr. 39 Dynamometer .....	46
Obr. 40 Svorkovnica asynchrónneho motora .....	47
Obr. 41 Pult s meracími prístrojmi a frekvenčným meničom .....	47

## **Zoznam použitých tabuliek**

Tab. 1 Tabuľka menovitých hodnôt: .....	35
Tab. 2 Záznam nárastu teploty po zapnutí motora po dobu 20 sekúnd: .....	38
Tab. 3 Tabuľka ustálených hodnôt teploty: .....	42

## Úvod

Ako zadanie bakalárskej práce som si vybral tému, meranie oteplenia konštrukčných častí asynchrónneho motoru pri napájaní z meniča. V našom prípade bol použitý frekvenčný menič značky VACON s výkonom 10kW. Pre túto tému som sa rozhodol, pretože v súčasnej dobe predstavujú asynchrónne motory najobsiahlejšie a najpoužívanejšie stroje na celom svete.

Dôležitou súčasťou je sledovanie izolačných vlastností, aby nebol prekročený limit oteplenia izolantov, mohlo by dôjsť totiž to k degradácii stroja. Preto je potrebné poznať teploty časti celého asynchrónneho stroja.

Cieľom tejto bakalárskej práce je zmerať klasickú otepľovaciu krivku asynchrónneho motora, ktorý je napájaný z meniča a po celú dobu merania sú udržiavané konštantné menovité hodnoty. Druhou úlohou bolo zistiť ustálenú hodnotu oteplenia pre štyri zvolené čidla, ľubovoľne rozmiestnené na konštrukcii asynchrónneho motora.

V prvej kapitole je uvedené rozdelenie asynchrónnych strojov spoločne s konštrukciou a základnými údajmi asynchrónneho stroja.

V druhej kapitole je obsiahnutý princíp činnosti asynchrónneho motora, taktiež dôležité charakteristiky asynchrónneho stroja.

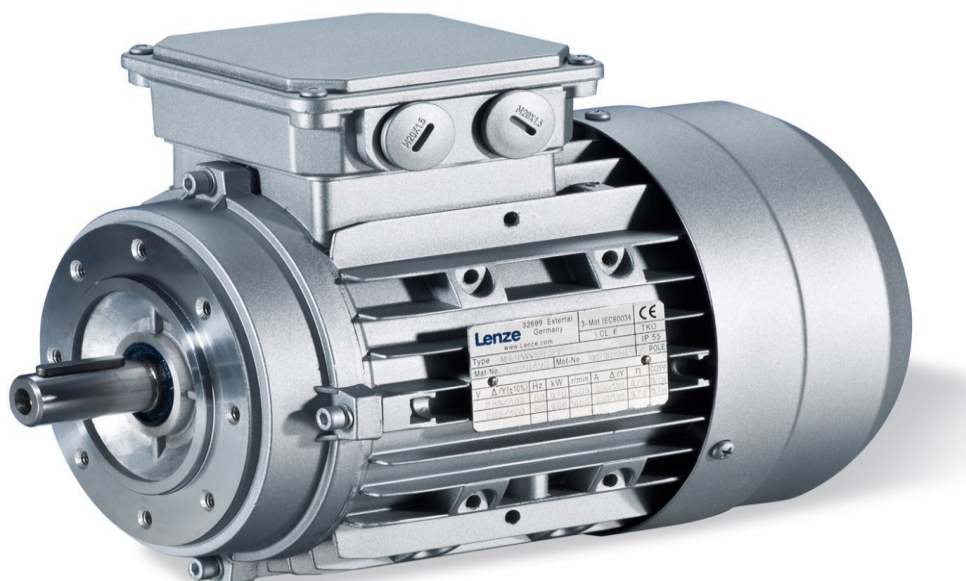
V tretej kapitole sú rozpísané jednotlivé druhy zaťaženia asynchrónneho motora spoločne s teplotnými pochodmi u elektrických strojov.

V štvrtej kapitole som sa venoval jednotlivým druhom oteplenia, ktoré sa vyskytujú u elektrických strojov.

V poslednej kapitole je obsiahnuté samotné meranie oteplenia konštrukčných častí asynchrónneho motora a spracovanie nameraných hodnôt.

## 1. Asynchrónny stroj

Asynchrónny stroj sa používa najčastejšie ako motor. Je najrozšírenejším elektromotorom a používa sa hlavne preto, že je zo všetkých elektromotorov najjednoduchší, najlacnejší a je taktiež prevádzkovo najspoľahlivejší a vyžaduje malú údržbu. Medzi jeho nevýhody patrí veľký prúdový nárast po pripojení na sieť a náročná regulácia otáčok. K jeho rozšíreniu prispieva aj všeobecne používaný rozvod el. energie striedavými trojfázovými sieťami. Rozsah výkonov vyrábaných asynchrónnych motorov je od niekoľkých wattov až po niekoľko desiatok MW. Odtiaľ pramení aj jeho použitie pre pohon najrôznejších zariadení a v dnešnej dobe aj takých, ktoré vyžadujú reguláciu rýchlosti. Používa sa k pohonom zariadení ako sú čerpadlá, ventilátory, kompresory, výťahy, práčky stavebné stroje. [1]



Obr. 1 Asynchrónny motor [2]

### 1.1 Základné údaje o asynchrónnych strojoch

Základné údaje sú dôležité pre samotného výrobcu, ale taktiež aj pre užívateľov stroja. Tieto údaje sú uvedené na výkonnostnom štítku stroja. Tento štítok by mal byť vyrobený tak, aby údaje ktoré sa na ňom nachádzajú boli čitateľné po celú dobu životnosti stroja. Ďalej sa na výkonnostnom štítku nachádza aj názov výrobcu, jeho sídlo, rok výroby, typ, výrobné číslo, hmotnosť stroja, poprípade aj niektoré ďalšie údaje. [3]

### 1.1.1 Štítkové údaje

- druh stroja - asynchrónny motor alebo generátor
- druh prúdu - trojfázový alebo jednofázový
- menovitý výkon stroja [kW]
- menovité statorové napätie [V]
- menovitý statorový prúd [A]
- menovitý kmitočet [Hz]
- menovité otáčky [min<sup>-1</sup>]
- menovitý účinník [-]
- rotorové napätie [V]
- rotorový prúd [A]
- druh zaťaženia – (trvalé ,prerušované, atď.)
- stupeň krytia stroja pred nebezpečným dotykom a pred vniknutím cudzích telies a vody IP
- trieda izolácie vinutia [3]

## 1.2 Rozdelenie asynchrónnych strojov:

### 1.2.1 Podľa premeny energie :

- Asynchrónny motor
- Asynchrónny generátor
- Indukčná brzda
- Indukčný menič frekvencie

**Asynchrónny motor** sa oproti synchronnému motoru vyznačuje inou konštrukciou rotora. Rotor je zložený zo sady vodivých tyčí, ktoré sú usporiadané do tvaru valcovej kľetky. Tyče sú na koncoch vodivo spojené a rotor sa potom nazýva „kotva nakrátko“. [4]

**Asynchrónny generátor** premieňa mechanickú energiu na elektrickú energiu. Ak sa poháňa rotor asynchrónneho stroja tak, že jeho rýchlosť sa zvýši nad synchronne otáčky, sklz potom bude záporný  $s < 0$ . [4]

**Indukčná brzda** využíva na brzdenie točivý moment. Tento moment vzniká otáčaním rotora proti smeru, ktorým by sa chcel pôsobením elektromagnetických síl otáčať. [4]

**Indukčný menič kmitočtu** je zariadenie ktoré využíva zmenu kmitočtu prúdu, indukovaného v otáčajúcom sa rotore. [4]

### 1.2.2 Podľa usporiadania statorového vinutia :

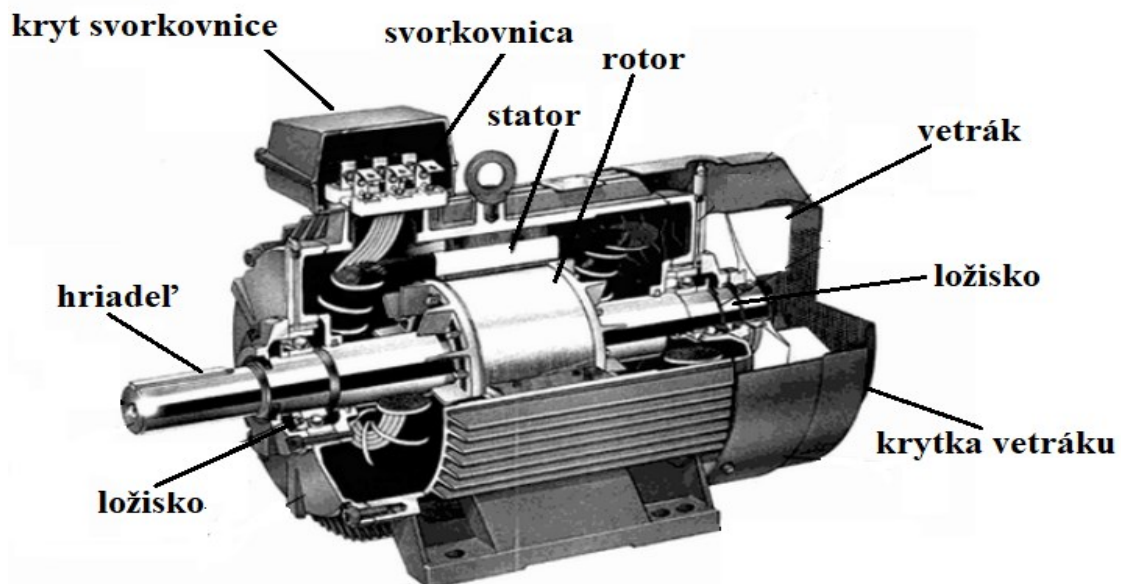
- Trojfázový
- Jednofázový (pre malé výkony)

### 1.2.3 Podľa usporiadania rotorového vinutia:

- S kotvou nakrátko
- Krúžkový

## 1.3 Konštrukčné prevedenie asynchrónneho motora

Magnetický obvod má rozdelený malou vzduchovou medzerou na stator a rotor. Obe tieto časti sú zložené z plechov. Základným požiadavkám na konštrukciu asynchrónneho motora po mechanickej stránke je tuhosť aby vzduchová medzera mohla byť čo najmenšia. Malá vzduchová medzera spôsobuje to, že motor pracuje s dobrým účinníkom, ktorý je vždy indukčný. U malých asynchrónnych motorov býva medzi statorom a rotorom vzduchová medzera okolo 0,2 mm u veľkých až 2mm. [4]



Obr. 2 Konštrukcia asynchrónneho motora v reze [5]

### 1.3.1 Stator

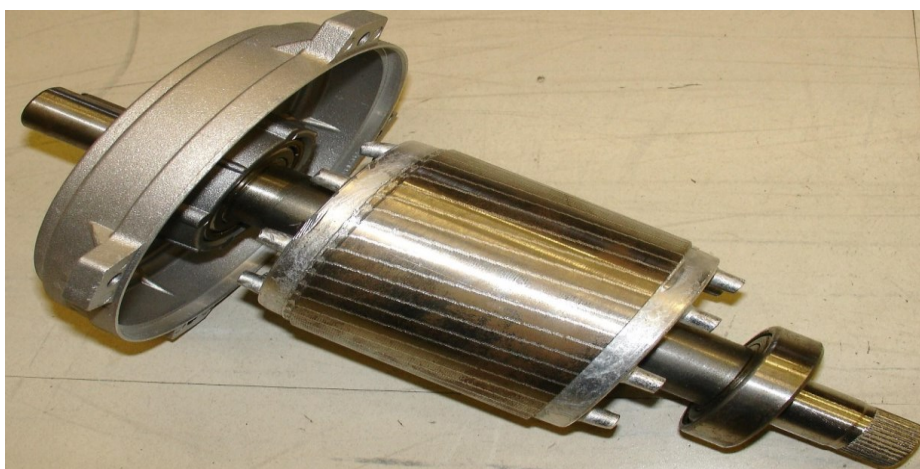
Stator asynchrónneho stroja tvorí prstenec zložený z ocelových plechov o hrúbke 0,5 mm a v drážkach vnútorného obvodu je vložené trojfázové vinutie. Hlavnou úlohou tohto vinutia je vytvoriť tzv. otáčavé magnetické pole. Otáčavé magnetické pole je vytvorené 3 fázami, na ktoré je motor pripojený. [6]



*Obr. 3 Stator elektrického stroja [7]*

### 1.3.2 Rotor

Rotor je taktiež zložený z plechov. Vinutie môže byť klieťkové alebo trojfázové. Klieťkové vinutia sa používajú pre rotory asynchrónnych strojov s kotvou nakrátko. Vinutie je zhotovené z masívnych tyčí, spojených po obidvoch stranách vodivými kruhmi. Trojfázové vinutie je vyvedené na krúžky, na ktorých sa cez uhlíkové kefy pripojuje spúšťač odpór, ktorý slúži na obmedzenie záberného prúdu a tým sa dosiahnu lepšie spúšťačie charakteristiky motora. [6]



*Obr. 4 Rotor elektrického stroja [8]*



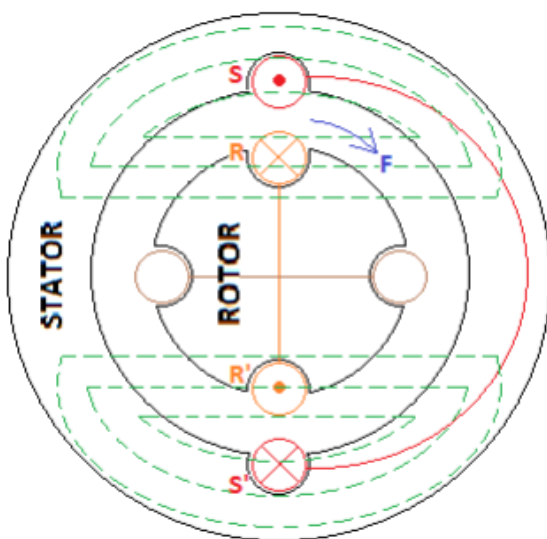
## 2. Princíp činnosti asynchrónneho motora

Princíp činnosti asynchrónneho motora je založený na vzájomnom elektromagnetickom pôsobení točivého magnetického poľa a prúdu, vytvorených vo vinutí rotoru daným magnetickým poľom. Asynchrónny motor sa nazýva indukčný, pretože je založený na indukcii napätia a prúdu v rotore. Točivé magnetické pole môžeme vytvoriť napr. tromi rovnakými valcovými cievkami, pootočenými navzájom o  $120^\circ$ , ak sú napájané trojfázovým prúdom. [6]

### 2.1 Vznik ťažnej sily

#### 2.1.1 Jednofázové vinutie :

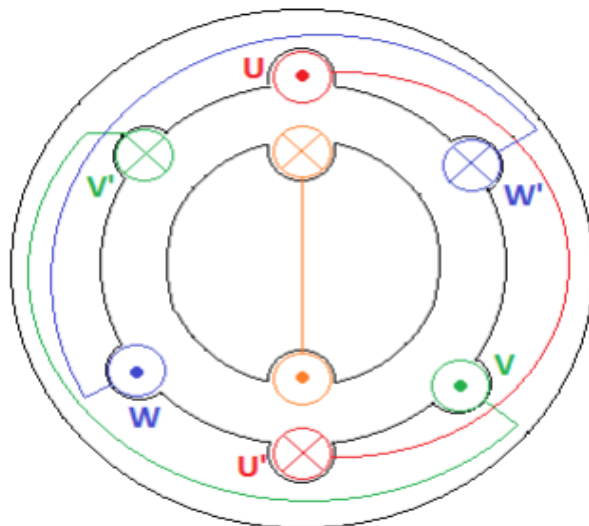
Najjednoduchší rotor indukčného motora je tvorený jedným závitom, ktorý je spojený nakrátko, cievka **RR'** a je vložený do točivého magnetického poľa. Na statoru sa nachádza jedna cievka **SS'** ktorá je napájaná striedavým elektrickým prúdom. Táto statorová cievka **SS'** vytvorí striedavé magnetické pole v ktorom sa nachádza aj rotorová cievka **RR'**, takže sa cez ňu začne indukovať elektrické napätie, dôsledkom čoho touto cievkou začne pretekať elektrický prúd. Cievka sa pôsobením sily **F** vychýli zo svojej polohy a zaujme kolmú polohu voči cievke **SS''**. To znamená, že rotorovou cievkou prestane prechádzať magnetické pole statoru a cievka sa prestane pohybovať. [9]



Obr. 5 Vznik ťažnej sily jednofázového vinutia [9]

### 2.2.2 Trojfázové vinutie:

V naznačenom okamihu prechádza maximálny elektrický prúd cievkou označenou  $UU'$  a rotorová cievka  $RR'$  sa otočí doprava. Skôr ako sa dostane kolmo na cievku  $UU'$ , bude záporné maximum prúdu v cievke  $WW'$  a magnetické pole tejto cievky otočí rotorovú cievku ďalej, kde ju uchopí magnetické pole cievky  $VV'$ , rotor sa otočí doprava a tým pádom vykoná jednu otáčku. [9]



Obr. 6 Vznik ťažnej sily trojfázového vinutia [9]

Takéto trojfázové statorové vinutie, ktoré je napájané trojfázovou napäťovou sústavou, budí točivé magnetické pole, ktoré sa otáča synchronnými otáčkami  $n_s$ :

$$n_s = \frac{f_1}{p} [s - 1]$$

$f_1$  – frekvencia napájacieho napätia

$p$  – počet pólových dvojíc

Častejšie sa však používajú otáčky za minútu  $n_s$ :

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} [\text{min}^{-1}]$$

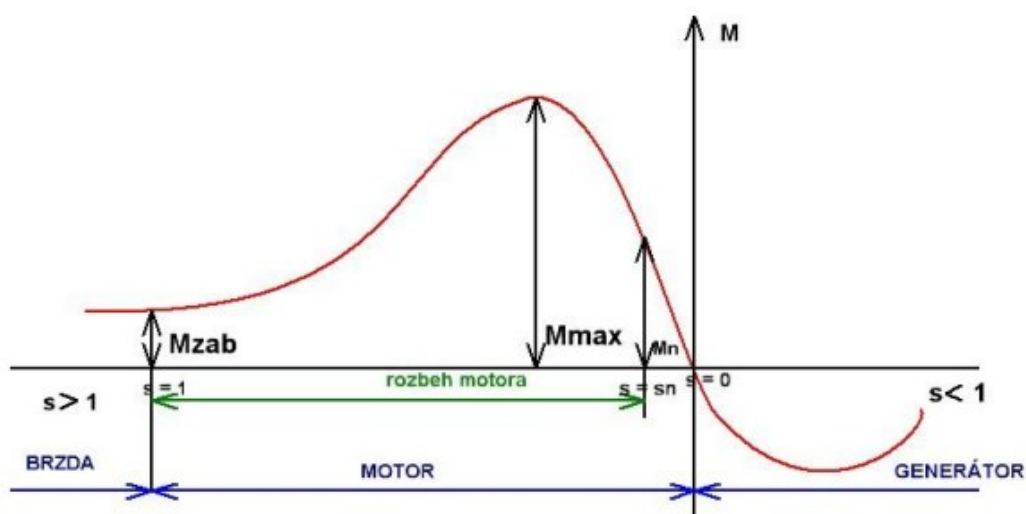
Rotor asynchronného motoru sa neotáča rovnakou rýchlosťou ako magnetické pole statoru, ale nižšou asynchronnou. Rozdiel medzi týmito rýchlosťami je daný sklzom  $s$ . [9]

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} [-]$$

## 2.3 Charakteristiky asynchrónneho stroja

Zobrazuje tri prevádzkové stavy asynchrónnych strojov:

- **Režim brzdy** - sklz  $s$  je väčší ako 1. Rotor sa točí proti smeru otáčania magnetického poľa statoru  $s = \frac{n_s + n}{n_s}$
- **Motorický režim** - prevádzka v rozsahu sklz  $s = 1$  (otáčky  $n=0$ ) až sklz  $s = 0$  (otáčky  $n = n_s$ )
- **Generatorický režim** - rotor sa točí otáčkami väčšími, ako sú otáčky synchronné  $n_s$  [9]



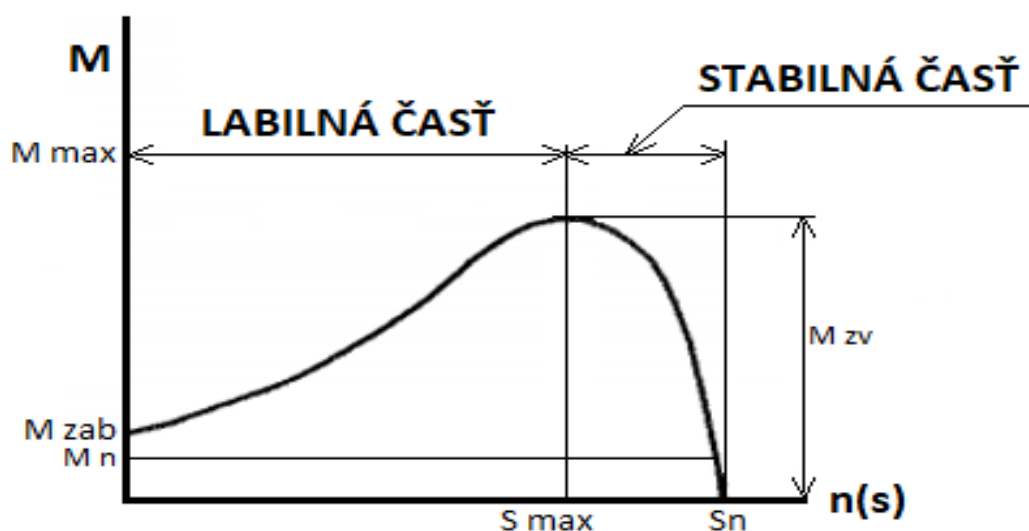
Obr. 7 Momentová charakteristika asynchrónneho stroja [10]

Na charakteristike sú dôležité 3 veľkosti momentov:

- **Záberový moment (MZ)** - moment, ktorý vyvinie motor pri rozbehu
- **Moment zvratu MZV (Mmax)** - najväčší moment, ktorý dosiahneme pri sklze zvratu
- **Menovitý moment (MN)** - pracovný moment stroja, ktorý motor vyvinie pri menovitom sklze a pri menovitých otáčkach [9]

### 2.3.1 Momentová charakteristika asynchrónneho stroja v motorickom režime

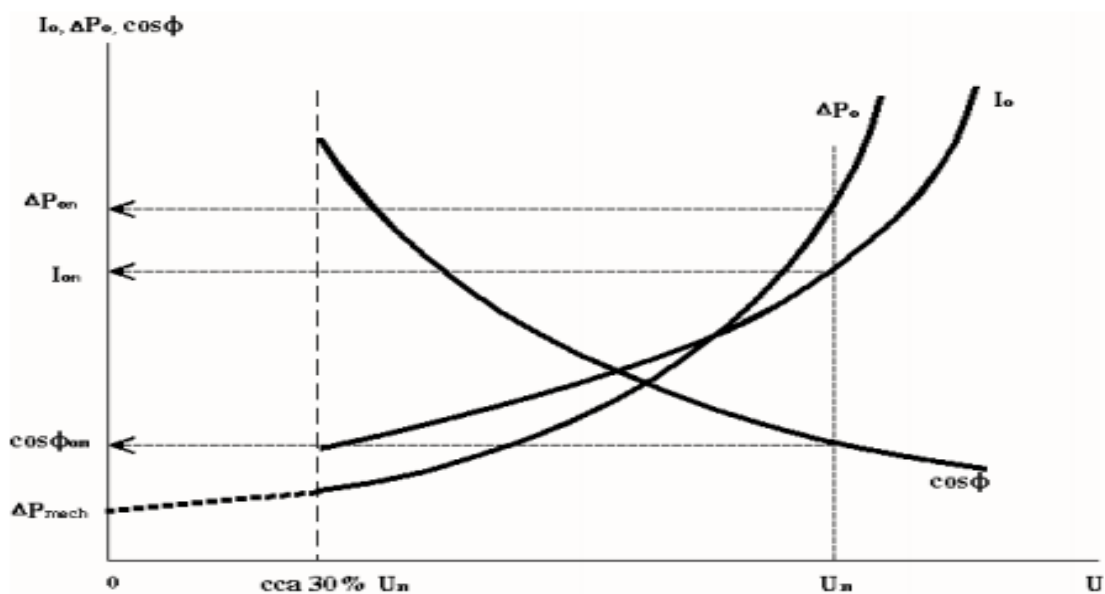
Je to charakteristika vyjadrujúca závislosť mechanických veličín, to znamená závislosť mechanického momentu  $M$  od sklzu  $s$ , respektíve otáčok  $n$ . Je rozdelená na dve časti. Na labilnú vetvu a na stabilnú vetvu. Po spustení asynchrónneho motoru rastie moment motoru  $M$  a otáčky  $n$  rastú. Keď motor dosiahne maximálny moment  $M_{\max}$  a pri vzrastajúcich otáčkach  $n$  moment motoru  $M$  začne klesať a to v podstate do nuly pri synchronných otáčkach  $n_s$ . [9]



Obr. 8 Momentová charakteristika v motorickom režime [9]

### 2.3.2 Charakteristika naprázdno

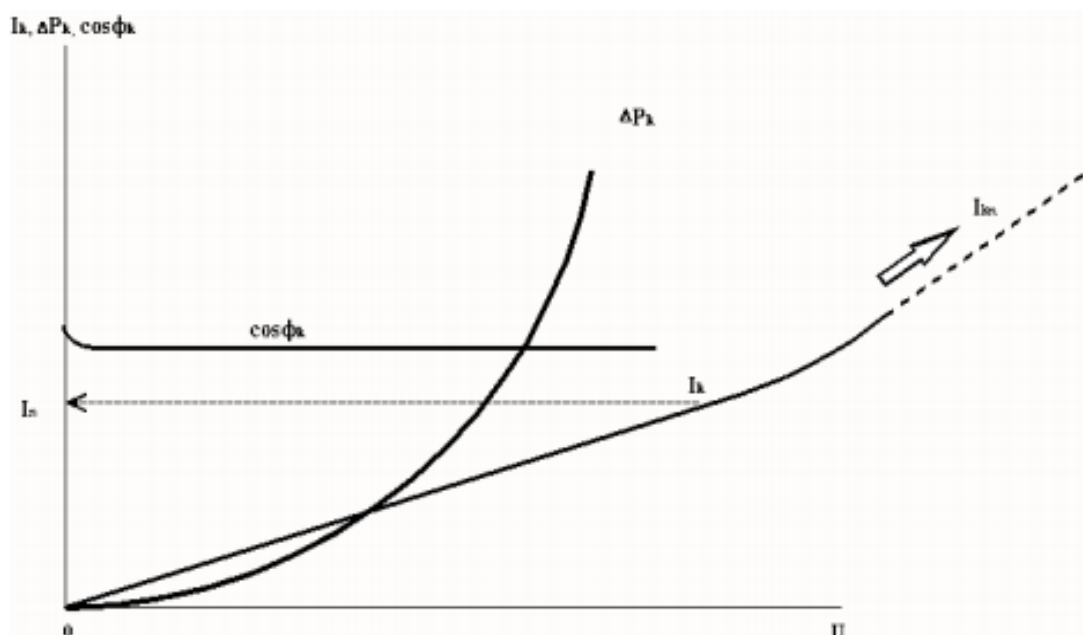
Charakteristika naprázdno je závislosť prúdu naprázdno na napätí. Môžeme ju merať až od cca 30% menovitého napätia ( $U_n$ ), keď dosiahneme túto hodnotu napätia, tak sa nám rotor roztočí na plné otáčky. Charakteristika zo začiatku nabera lineárny smer, ale vplyvom sýtenia k vyšším prúdom sa zakriví. Straty v tomto stave sú zložené zo strát mechanických a strát v železe statoru. Účinník pri zvyšujúcom napätí klesá a pre menovité napätie dosahuje hodnotu okolo 0,1. [11]



Obr. 9 Charakteristika naprázdno asynchronného motoru [11]

### 2.3.3 Charakteristika na krátko

Charakteristika naberať opäť lineárny smer. Straty v železe sú zanedbateľné straty, vznikajú iba prietokom prúdu cez odpory oboch vinutí (Jouleovy straty). Účinník je pri tomto meraní takmer konštantný, je daný iba pomerom odporov a rozptylových reaktancií a dosahuje hodnoty cca 0,5. [11]



Obr. 10 Charakteristika nakrátko asynchronného motoru [11]

### 3. Druhy zaťaženia asynchrónneho motora

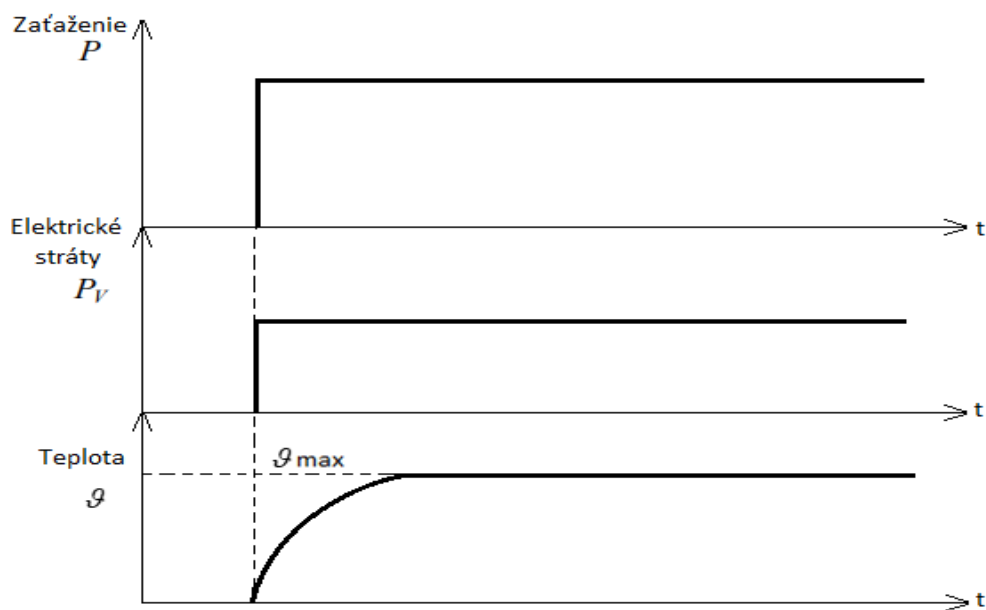
Zaťaženie pohonného motora v praxi závisí od zaťaženia pracovného mechanizmu, ktoré môže byť konštantné alebo časovo premenlivé. [12]

#### 3.1 Základné druhy zaťaženia:

- S1 Trvalé zaťaženie
- S2 Krátkodobé zaťaženie
- S3 Prerušovaný chod
- S6 Prerušované zaťaženie

#### Trvalé zaťaženie S1

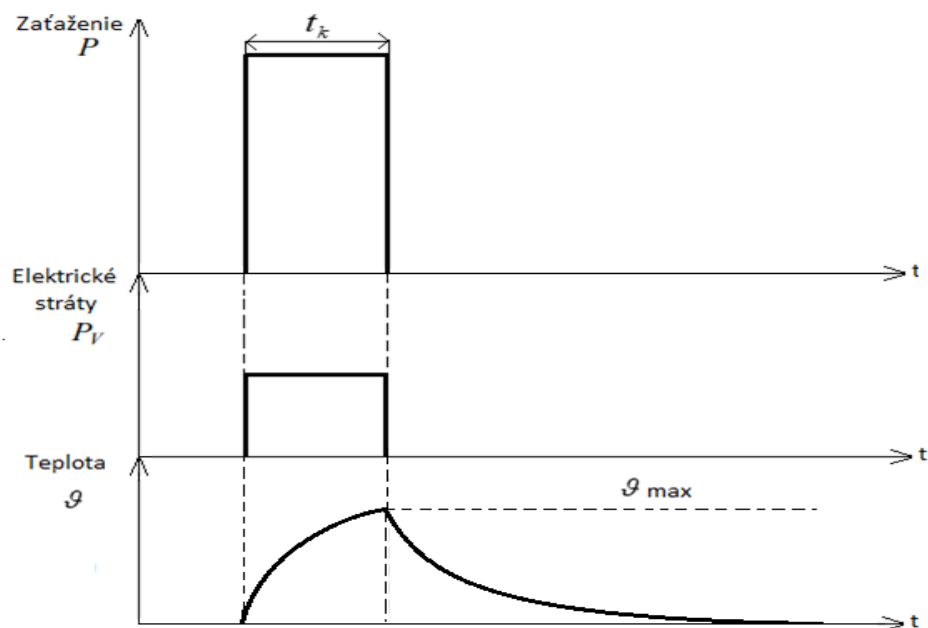
Je to chod pri konštantnom zaťažení ktorý je dostatočne dlhý pre dosiahnutie ustálenej teploty  $\Delta t_z \geq 3 \cdot T_1$  [12]



Obr. 11 Trvalý chod S1 [12]

#### Krátkodobý chod S2

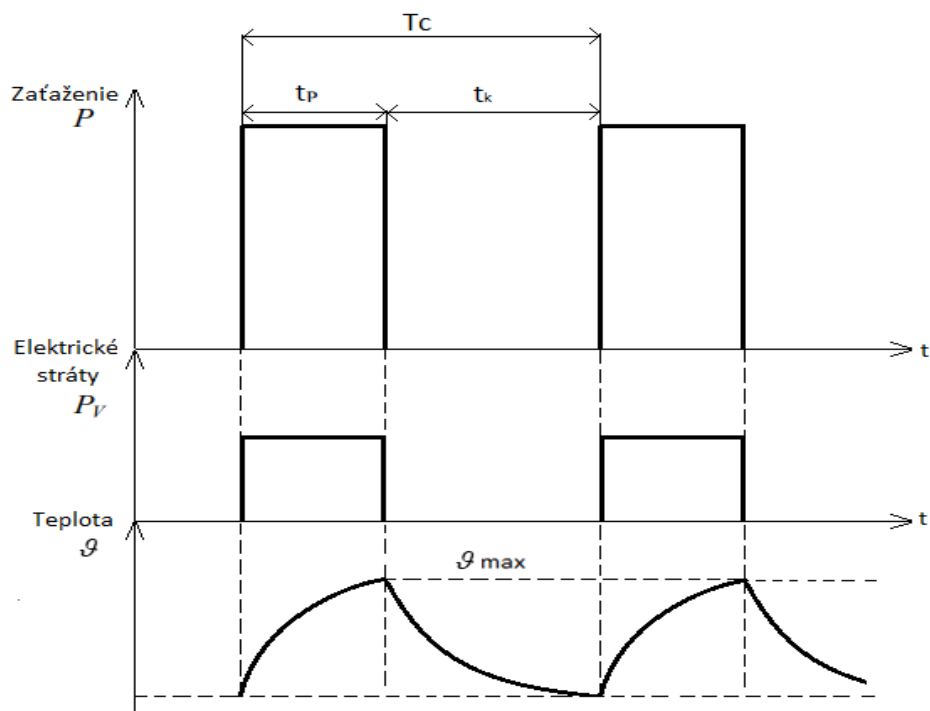
V tomto chode je motor zaťažovaný menovitým výkonom dovtedy, pokiaľ oteplenie nedosiahne ustálený stav. Ďalej nasleduje doba pokoja  $t_k$ , ktorá je dostatočne dlhá, aby teplota motora dosiahla teplotu okolitého prostredia. Pri tomto typu zaťaženia môžu vzniknúť v stroji vyššie straty ako pri jeho trvalom zaťažení. Teplota stroja však nesmie prekročiť svoju dovolenú hodnotu. [12]



Obr. 12 Krátko dobý chod S2 [12]

### Prerušovaný chod S3

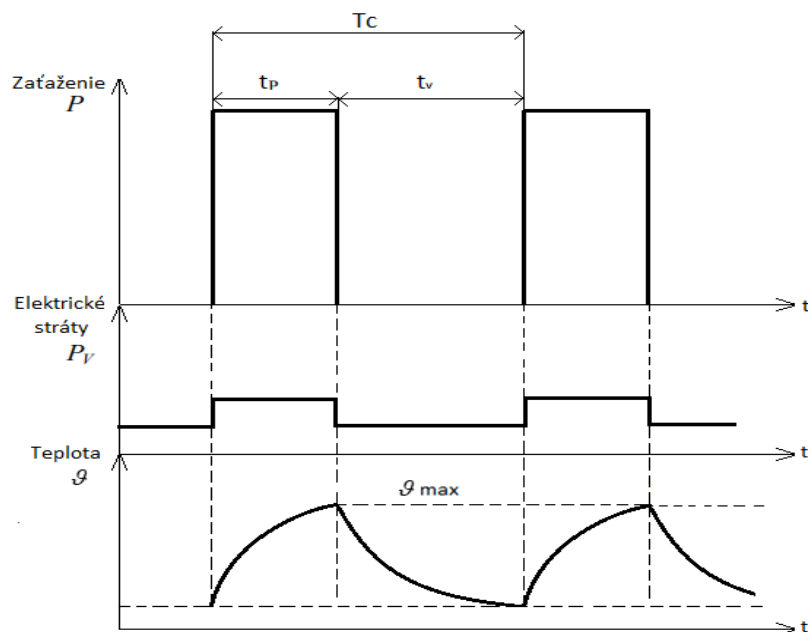
Toto zaťaženie je charakterizované opakujúcim sa cyklom, behom ktorého nedôjde k tepelnej rovnováhe. Behom doby pokoja sa stroj nestačí ochladiť na okolitú teplotu. Čas pracovného cyklu  $T_c$  je stanovený na dobu 10 minút, ale môže byť aj kratší. [13]



Obr. 13 Prerušovaný chod S3 [12]

## Prerušované zaťaženie S6

Motor zostáva vzhľadom na prevádzku S3 pod napätím a beží v stave naprázdno. Čas cyklu  $T_c$  a zaťažovateľ majú rovnaké hodnoty ako pri prerušovanom chode S3. [12]



Obr. 14 Prerušované zaťaženie [12]

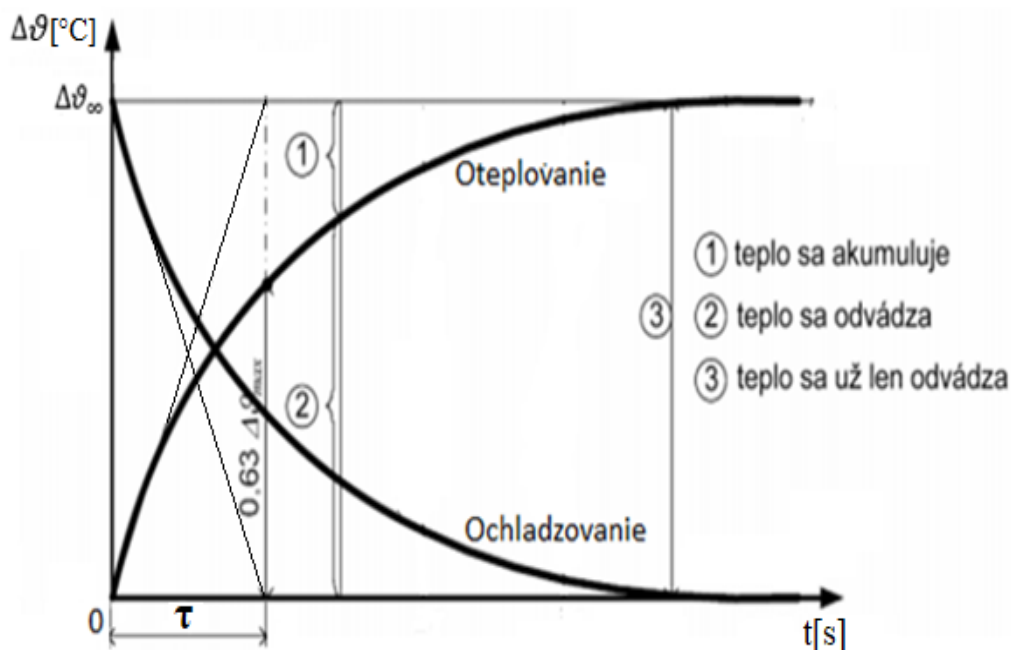
### 3.2 Ostatné druhy zaťaženia:

- S4 Prerušovaný chod s rozbehom
- S5 Prerušovaný chod s elektrickým brzdením
- S7 Prerušované pravidelné zaťaženia s elektrickým brzdením
- S8 Prerušované pravidelné zaťaženie so zmenami otáčok spojenými so zmenami zaťaženia
- S9 Nepravidelné zaťaženia a zmeny otáčok
- S10 Zaťaženie s nespojitými konštantnými zaťažzeniami



#### 4. Popis tepelných pochodov v elektrických strojoch

V elektrických strojoch vznikajú straty. Sú to straty v železe, vo vinutiach, mechanické straty, čo je vlastne premenená energia na teplo za určitý čas, otepľujúcich častí stroja, kde tieto straty vznikajú. Straty vypočítame pomocou vzťahu  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ , kde  $P_2$  je výkon motoru a  $P_1$  je príkon zo siete. Väčšia spotreba tepla nastáva na začiatku prevádzky u zvyšujúceho tepelného obsahu telesa, pričom teplota stúpa rýchlejšie. Stroj dosiahne maximálneho oteplenia, ak sa všetko teplo vznikajúce v stroji začne šíriť do okolitého prostredia a teplota stroja sa nezvyšuje. Tepelné pochody sú pre chod stroja potrebné z hľadiska zaťaženia izolácie. Táto izolácia zahŕňa skupinu elektrických nevodivých materiálov, ktoré zabráňujú vodivému spojeniu s okolím a spojením vodičov medzi sebou. [13]

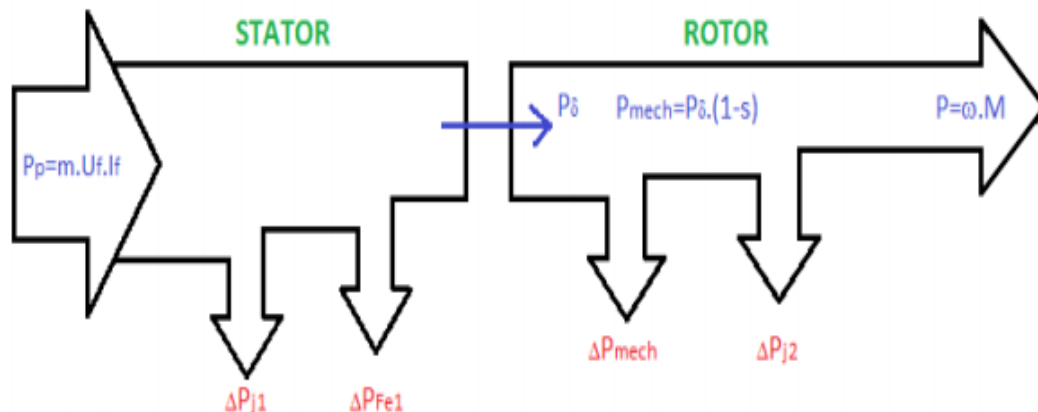


Obr. 15 Otepľovacia a ochladzovacia charakteristika [14]

Krivka časového priebehu oteplenia má exponenciálny charakter. Z počiatočnej nulovej hodnoty postupne narastá, až po dobu  $t \rightarrow \infty$  sa ustáli na hodnote maximálneho oteplenia  $\Delta\theta_{\infty}$ . Časovú konštantu  $\tau(s)$  môžeme definovať ako dobu, za ktorú by teleso dosiahlo ustálené oteplenie  $\Delta\theta_{\infty}$ , ak by sa všetko uvoľnené teplo spotrebovalo iba na zvyšovanie jeho teploty, tj. keby bolo  $\alpha_0 = 0$ . [14]

#### 4.1 Energetická bilancia asynchrónneho stroja

Energetické pomery vyjadríme pomocou výkonov. Výkon vo vzduchovej medzere  $P_\delta$  sa rozdeľuje na mechanický výkon a elektrický výkon. [9]



Obr. 16 Energetická bilancia asynchrónneho motoru [9]

Straty ktoré berieme do úvahy sú :

a) Joulove straty statoru:

$$\Delta P_{j1} = m_1 * R_1 * I^2$$

b) straty v železe statoru :

$$\Delta P_{Fe1} = \Delta P_{FeH} + \Delta P_{FeV}$$

c) Joulove straty rotoru:

$$\Delta P_{j2} = m_1 * R'_2 * I'^2$$

d) straty mechanické:

$$\Delta P_{mech} \approx n^2$$

Straty v železe rotoru sa zanedbávajú vzhľadom k tomu že v rotore existuje kmitočet  $f_2$ , pre ktorý platí  $f_2 = s f_1$ ,  $s \ll 1$

Pretože je známe, že straty vírivými prúdmi sú úmerné  $f_2$ , môžeme  $\Delta P_{Fe2}$  zanedbať.

Výkon prenášaný cez vzduchovú medzeru môžeme napísať ako :

$$P_\delta = P_p - \Delta P_{j1} - \Delta P_{Fe1}$$

Prenášaný výkon na hriadelí rotoru môžeme napísať ako :

$$P_\delta = P + \Delta P_{j2} + \Delta P_{mech}$$

V okamžiku, kedy nie sú ešte uvažované straty vo vinutí rotoru, je možné pre prenášaný mechanický výkon na hriadelí zapísať ako :

$$P_{mech} = P_\delta * (1 - s)$$

#### 4.1.1 Rovnica energetickej bilancie

Pomocou rovnice energetickej bilancie môžeme opísať tepelné pochody elektrických strojov. Touto rovnicou môžeme objasniť fakt, že jedná časť elektrickej energie premenená na teplo sa prejaví v podobe akumulovaného tepla a druhá časť sa prejaví v podobe tepla odvedeného do okolia. [13]

$$\Delta P dt = cV \Delta \vartheta + \alpha S \Delta \vartheta dt$$

$\Delta P dt$  - energia premenená na teplo

$cV \Delta \vartheta$  - predstavuje akumulované teplo

$\alpha S \Delta \vartheta dt$  - predstavuje teplo odvedené do okolia

#### 4.2 Tepelné pole

Teplo sa obecné šíri z miesta vzniku do okolia tromi rozličnými spôsobmi :

- **Vedením** (kondukcia)
- **Prúdením** (konvekcia)
- **Sálaním** (žiarenie ,radiácia)

Pri prenose tepla vedením sa teplo šíri predovšetkým v pevných látkach. Nastane prenos vibrácií atómu pevných telies, pričom dochádza k pohybu energie od teplejších molekúl smerom k chladnejším. [13]

Prenos tepla prúdením vzniká prirodzenou cirkuláciou ohriateho vzduchu nahor a na jeho miesto prichádza studený vzduch. Vo vákuu sa teplo šíri len sálaním. [13]

Prenos tepla sálaním popisuje Stefan - Boltzmanov zákon, ktorý opisuje o množstve vyžiarenej energie z jednotky plochy úplne čierneho telesa. Všetko teplo je prenášané jedným z týchto troch typu prenosov, ale býva to aj kombináciou dvoch až troch typov prenosov. [13]

### 4.3 Druhy oteplenia u elektrických strojov

#### 4.3.1 Krátkodobé oteplenie

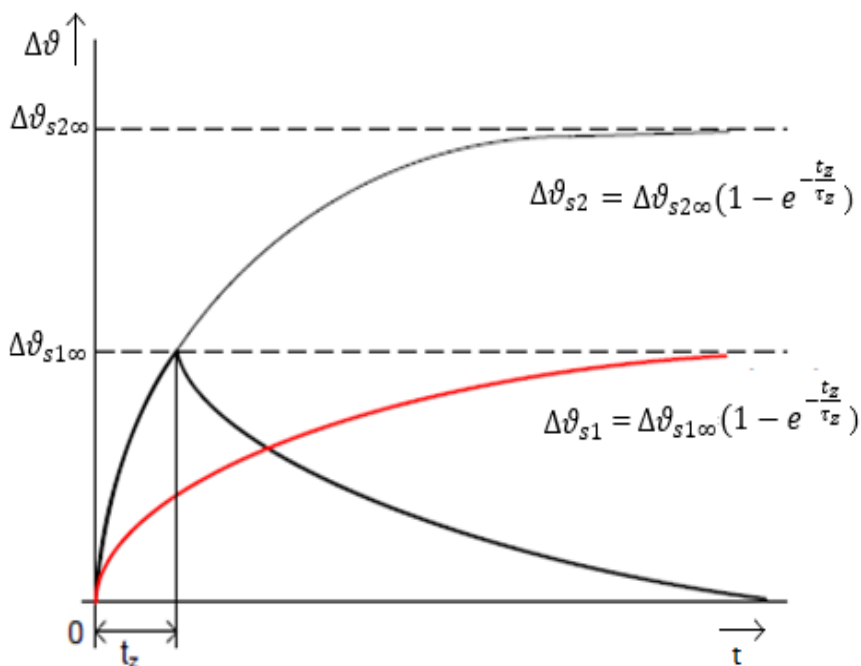
Ak prechádza vodičom elektrický prúd po dobu kratšiu ako je  $0,2 \tau$ , môžeme zanedbať odvod tepla do okolia a uvažovať, že všetko uvoľnené teplo sa akumuluje v telese a zvyšuje jeho teplotu. [15]

V čase  $t = t_z$  platí  $\Delta\vartheta_{s2}(t_z) = \Delta\vartheta_{s1\infty} = \Delta\vartheta_{dov} = \Delta\vartheta_{s2\infty}(1 - e^{-\frac{t_z}{\tau_z}})$

$q$  - vyznačujeme činiteľ krátkodobého preťaženia ktorý sa pohybuje v rozpätí 1,2 ( pre dlhé doby zaťaženia  $t_z$ ) až 2 (pre krátke doby  $t_z$ )

$$\text{Pomer strát : } \frac{\Delta P_{s2}}{\Delta P_{s1n}} = \frac{\Delta\vartheta_{s2\infty}}{\Delta\vartheta_{s1\infty}} = \frac{\Delta\vartheta_{s2\infty}}{\Delta\vartheta_{dov}} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_z}{\tau_z}}} = q$$

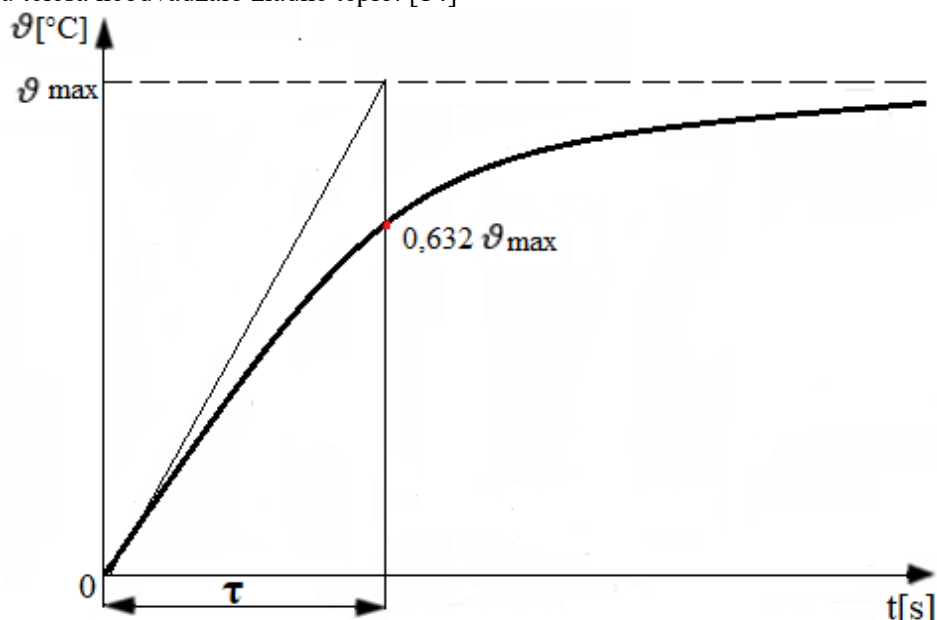
Straty  $\Delta P_{s1n}$  rozdeľujeme na straty nezávislé na zaťažení tzv. straty naprázdno (mechanické straty a straty v železe)  $\Delta P_0 = K_1 P_{s1n}$  a straty závislé na zaťažení (vo vinutí). [15]



Obr. 17 Priebeh oteplenia pri krátkodobom chode [15]

### 4.3.2 Dlhodobé oteplenie

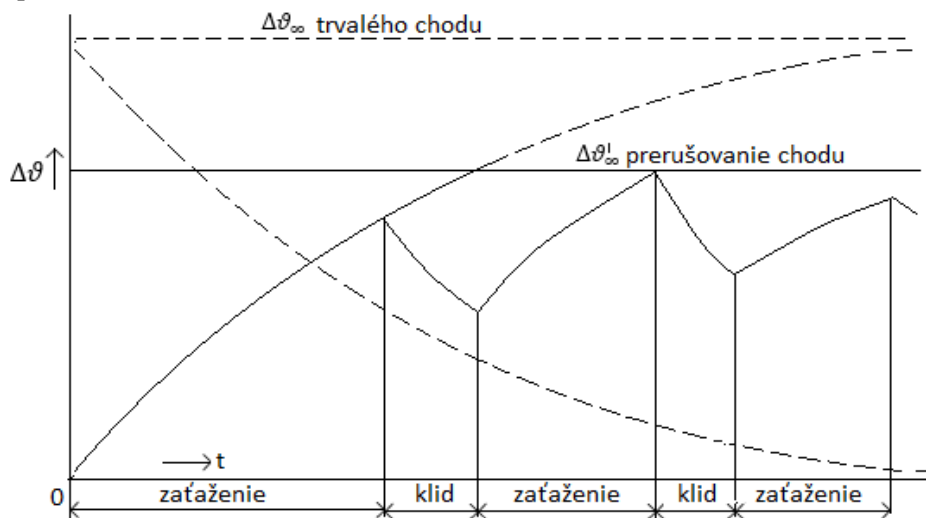
U dlhodobého oteplenia otepľovacia krivka je exponenciálna, ktorá z počiatočnej nulovej hodnoty narastá stále pomalšie, až za nekonečnú dlhú dobu  $d$  ( $t = \infty$ ) dosiahne hodnotu maximálneho oteplenia. Časová konštanta  $\tau$  vyjadruje čas, za ktorý by teleso dosiahlo ustáleného oteplenia, ak by sa z povrchu telesa neodvádzalo žiadne teplo. [14]



Obr. 18 Oteplenie pri dlhodobom chode [15]

### 4.3.2 Oteplenie pri prerušovanom chode

Ak prerušíme obvod, prestane vodičom pretekať elektrický prúd a tepelná strata bude  $q=0$ . Priebeh oteplenia prerušovaného chodu sa určuje najlepšie z otepľovacej a ochladzovacej krivky a časového programu chodu. Ak zaručuje program chodu, že zariadenie nedosiahne nikdy oteplenie trvalého chodu, ale iba určité menšie hodnoty, môže sa použiť zariadenie dimenzované pre menší menovitý prúd. Zariadenie potom krátkodobo preťažujeme tak, aby pri danom programe výsledné oteplenie neprekročilo dovolenú hodnotu vzhľadom k izolácii. [15]



Obr. 19 Oteplenie pri prerušovanom chode [15]

### 4.3.3 Ustálený stav

Ak prechádza stále rovnaký elektrický prúd vodičom po veľmi dlhu dobu, tak dané teleso dosiahne teplotne ustáleného stavu. Otepľovanie v ustálenom stave je priamo úmerné stratám vo vodiči a nepriamoúmerné ochladzovacím podmienkam. [15]

V ustálenom stave platí :  $\frac{\Delta \vartheta}{dt} = 0, = \Delta \vartheta_{\infty}$

Takže platí vzťah  $RI^2 = \alpha_0 A \Delta \vartheta_{\infty}$

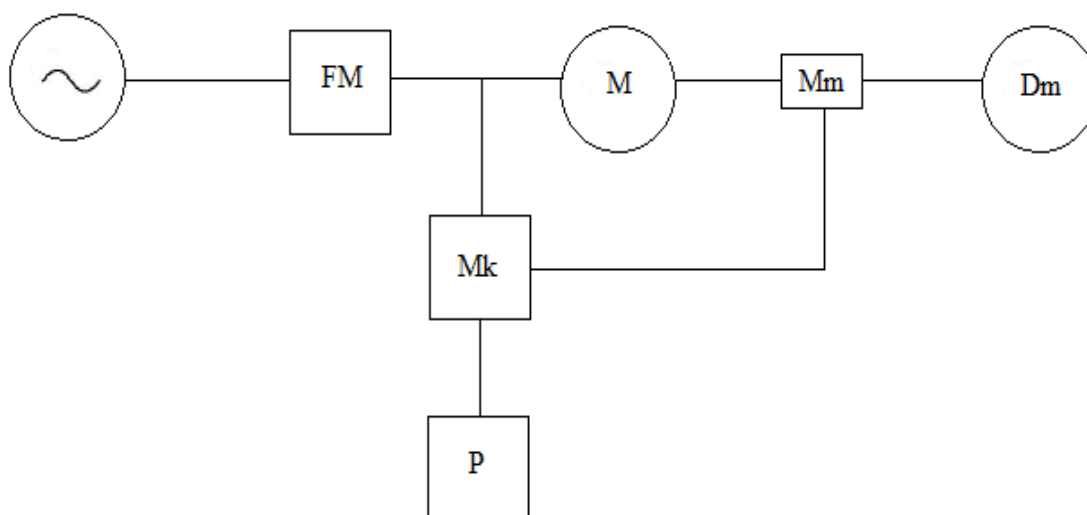
Dosadením  $\Delta \vartheta_{\infty}$ , za daných podmienok nastáva tepelná rovnováha, všetko teplo vznikajúce vo vodiči sa jeho povrchom predáva do okolia. [15]

## 5. Praktická časť

V tejto kapitole by som chcel prezentovať praktickú časť mojej bakalárskej práce a to meranie na samotnom asynchrónnom motore značky Siemens o výkone 2,2 kW, ktorý bol napájaný z meniča značky Vacon o výkone 10 kW. V tejto kapitole je uvedený postup merania, zaznamenané jednotlivé hodnoty, z ktorých sú následné vyhotovené grafy.

### 5.1 Bloková schéma zapojenia

Na obrázku číslo 20 môžeme vidieť blokové schéma celého mechanizmu, a uvedený popis jednotlivých súčastí.



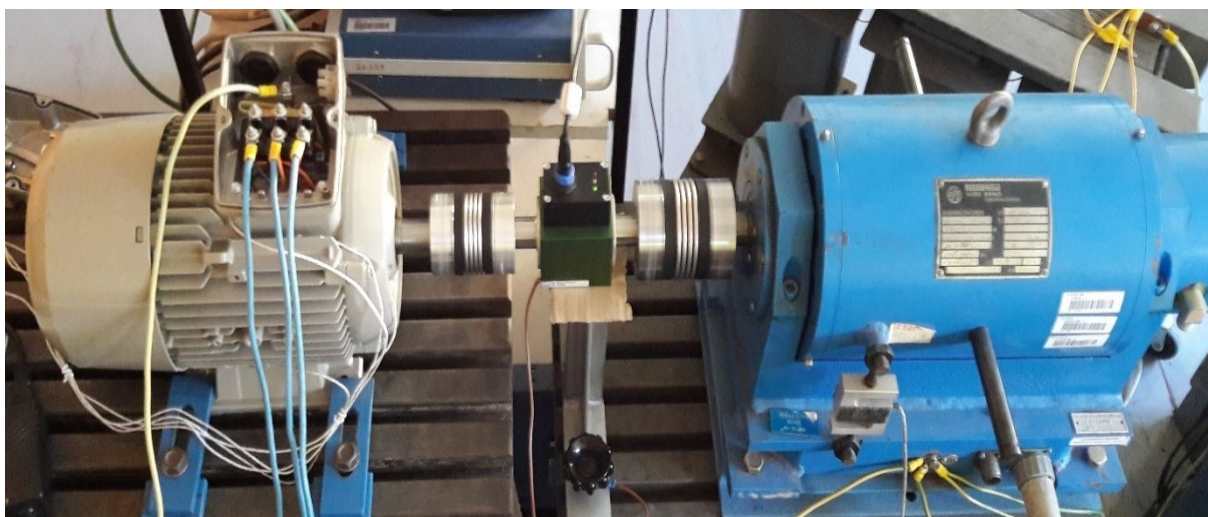
Obr. 20 Blokové schéma zapojenia

**Fm** – frekvenčný menič  
**M** – motor  
**Mm** – merač momentu  
**Dm** – dynamo meter  
**Mk** – meracia karta  
**P** – počítač

## 5.2 Postup merania

Najskôr sa spustil dynamometer, ktorý nám slúži na brzdenie a vytvorenie brzdného momentu, ktorý spôsobí menovitý výkon na hriadeľi asynchrónneho motora. Menovitý výkon sa po celú dobu merania udržiava konštantný. Druhým krokom bolo nastavenie menovitých hodnôt na asynchrónnom motore pre napájanie z meniča. Údaje týkajúce sa napájacieho systému, to znamená vstupné napätie, ďalej prúd, ktorý nám do toho systému tečie, tak sú vyhodnocované cez meracie karty a výstupy z meracej karty sú vyvedené do PC, v ktorom je systém LABVIEW. Tento systém nám slúži na spracovanie týchto údajov a ukáže nám všetky namerané veličiny (napätie, prúd, otáčky, moment, sklz, výkony vo všetkých fázach, prúdy vo všetkých fázach, zdanlivé výkony vo všetkých fázach kosínus  $\phi$  vo všetkých fázach).

Druhou súčasťou tohto celého systému je merač momentu otáčok, ktorý nám slúži na vyhodnotenie výkonu motora na výstupe. Tento merač momentu je pripevnený k hriadeľu, ktorá je spojená s asynchrónnym motorom a dynamometrom. Na záver sa uviedol do prevádzky aj samotný asynchrónny motor. Doba celého merania trvala 65 minút.

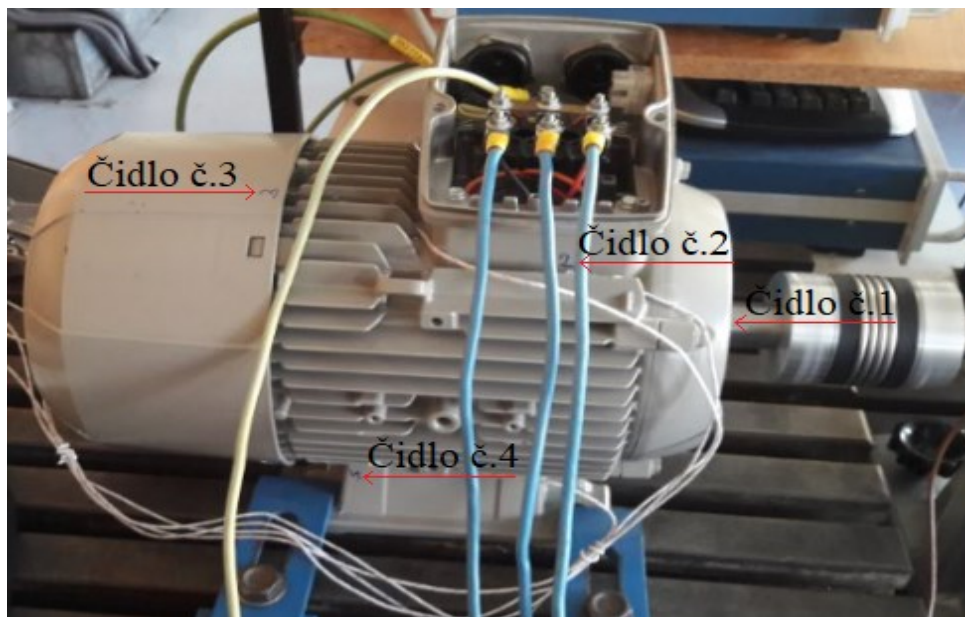


*Obr. 21 Asynchrónny motor pripojený pomocou hriadele k dynamometru*



## 5.2 Umiestnenie teplotných čidiel

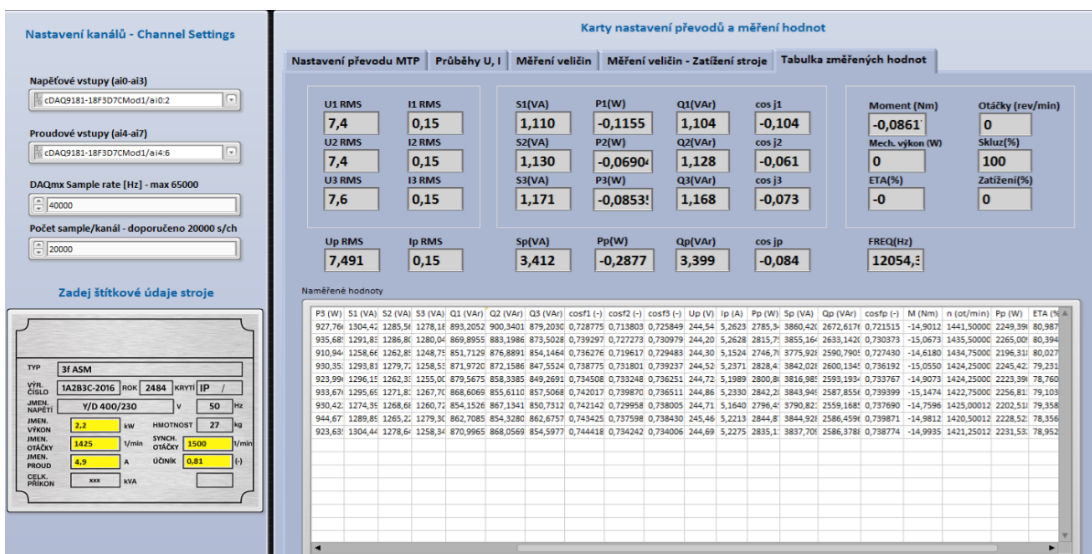
Čidla sa nachádzajú v miestach, kde sa predpokladá, že tok prúdu chladiaceho vzduchu bude horší, alebo nebude vôbec, teda na prednej strane. Na obrázku číslo 22 vidíme rozmiestnenie jednotlivých čidiel na asynchrónnom motore. Čidlo číslo 1 sa nachádza na ložiskovom štíte, v ktorom je uložené ložisko. Čidlo číslo 2 je uložené v blízkosti svorkovnice. Tretie čidlo je pripevnené na výstupe z vrtule ventilátora. Posledné štvrté čidlo je umiestnené v spodnej časti asynchrónneho motora.



Obr. 22 Rozmiestnenie teplotných čidiel

### 5.2.1 Záznam menovitých hodnôt v priebehu merania

Na tomto obrázku môžeme vidieť záznam menovitých hodnôt, ktoré tu počas merania pribúdali. Na ľavej strane tohto obrázka je znázornený štítok asynchrónneho motora, na ktorom sú žltým rámečkom vyznačené dosadené menovité hodnoty.



Obr. 23 Záznam meraných veličín

Tab. 1 Tabuľka menovitých hodnôt :

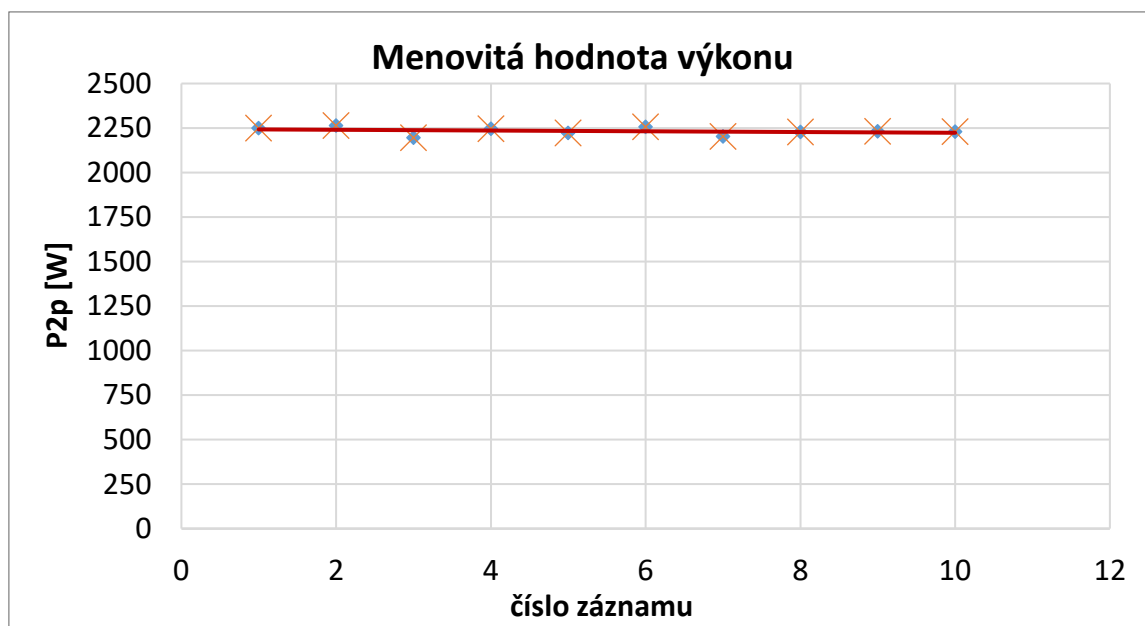
č.z	Up	Ip	P1p	Sp	Qp	Cos φp	M	n	P2p	η
[-]	[V]	[A]	[W]	[VA]	[Var]	[-]	[Nm]	[ot/min]	[W]	[%]
1	244,54	5,2623	2785,37	3860,426	2672,617	0,7215	-14,91	1441,500	2253,08	80,89
2	244,20	5,2628	2815,76	3855,164	2633,142	0,7303	-15,06	1435,500	2265,00	80,39
3	244,30	5,1524	2746,72	3775,928	2590,790	0,7274	-14,61	1434,750	2196,31	80,03
4	244,52	5,2371	2828,43	3842,022	2600,134	0,7361	-15,05	1424,250	2245,42	79,23
5	244,72	5,1989	2800,80	3816,985	2593,194	0,7337	-14,90	1424,250	2223,39	79,13
6	244,86	5,2330	2842,14	3843,945	2587,856	0,7393	-15,14	1422,750	2256,81	78,76
7	244,71	5,1640	2796,43	3790,825	2559,168	0,7376	-14,75	1425,000	2202,51	79,13
8	245,45	5,2213	2844,81	3844,928	2586,459	0,7398	-14,98	1420,500	2228,52	79,35
9	244,69	5,2775	2835,12	3837,709	2586,378	0,7387	-14,99	1421,250	2231,53	78,35
10	244,58	5,1526	2810,17	3879,475	2585,697	0,7375	-14,97	1422,500	2229,41	78,95

Ukážka výpočtu:

$$P1_p = 3 * U_p * I_p * \cos \varphi_p = 3 * 244,54 * 5,2623 * 0,7215 = 2785,37 \text{ W}$$

$$P2_p = 3 * U_p * I_p * \cos \varphi_p * \eta = 3 * 244,54 * 5,2623 * 0,7215 * 0,8089 = 2253,08 \text{ W}$$

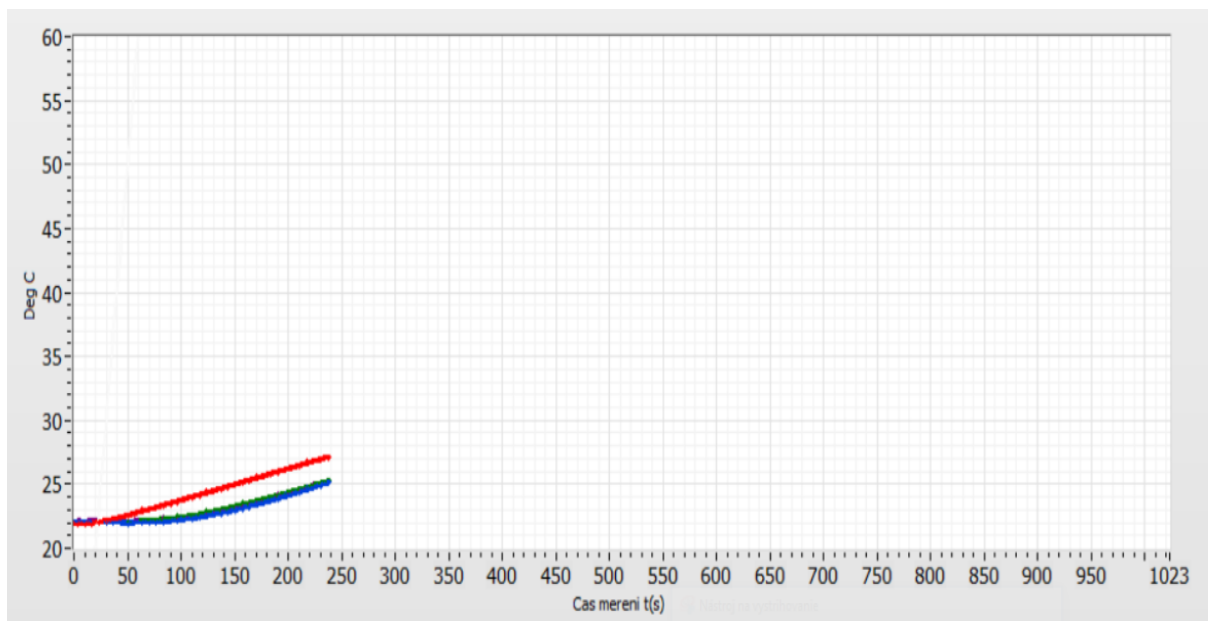
Na tomto grafe môžeme vidieť menovitú hodnotu výkonu, ktorá je počas celej doby merania konštantná.



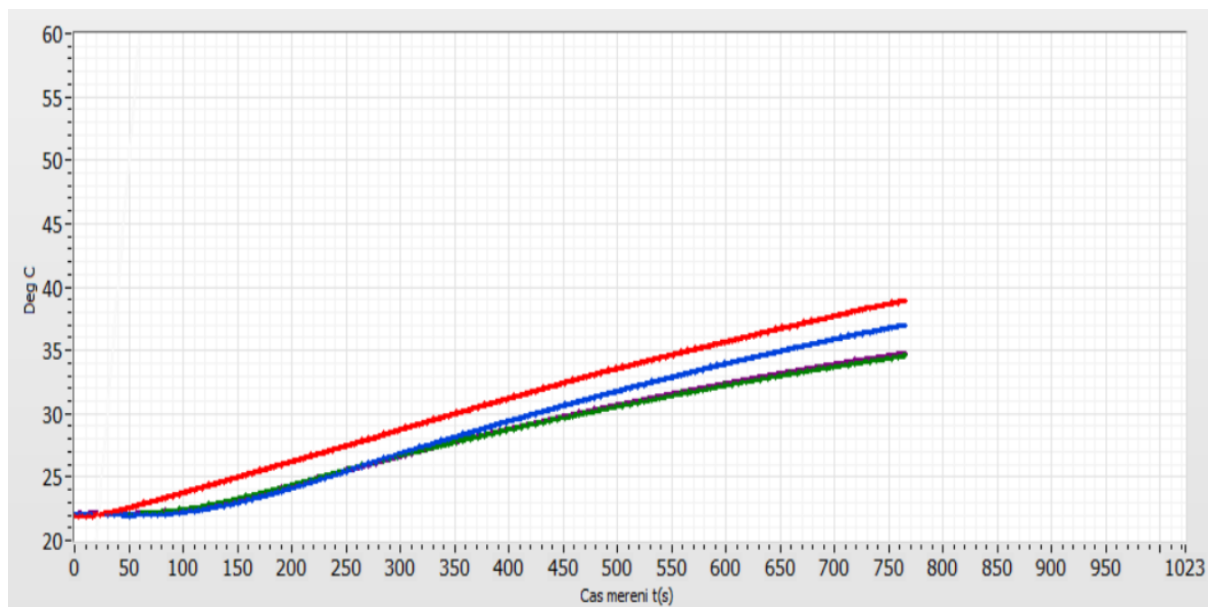
Obr. 24 Charakteristika menovitej hodnoty výkonu

### 5.3 Meranie otepľovacej charakteristiky asynchrónneho motora

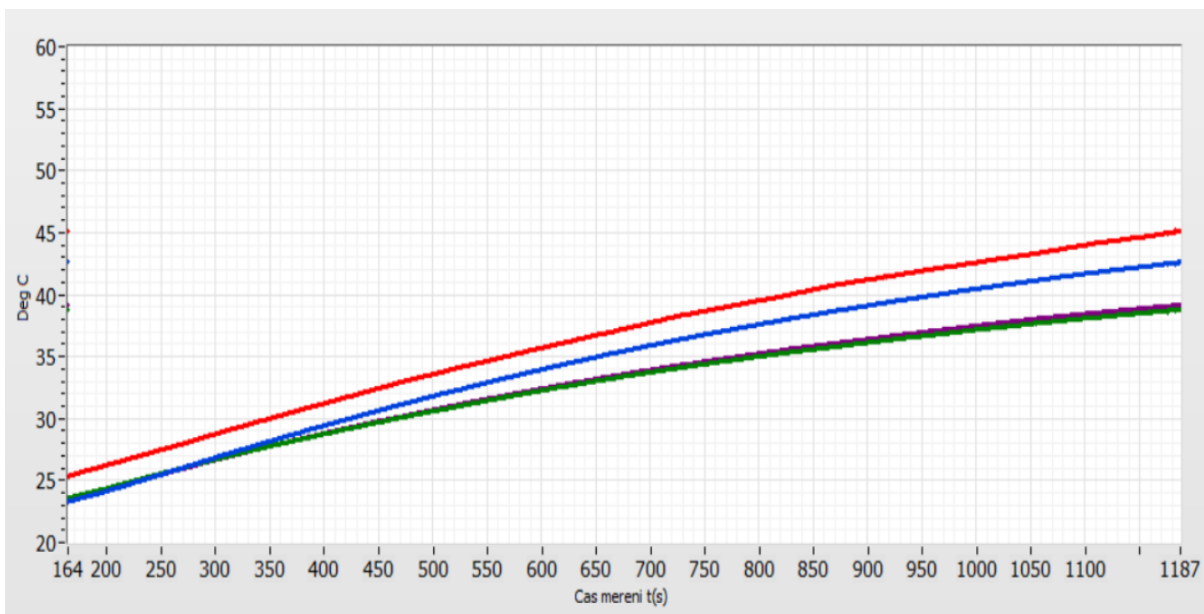
V tejto podkapitole sú graficky vyobrazené nárasty teplôt štyroch čidiel počas celej doby merania. Ďalej v tabuľke číslo 2 sú s pribúdajúcim časom zaznamenané hodnoty oteplenia teplotných čidiel a následne vyhotovená charakteristika oteplenia. Na začiatku merania bola teplota všetkých čidiel umiestnených na konštrukcii motora okolo 22 °C.



Obr. 25 Začiatok teplotného priebehu čidiel v čase 245s (4,08 min)

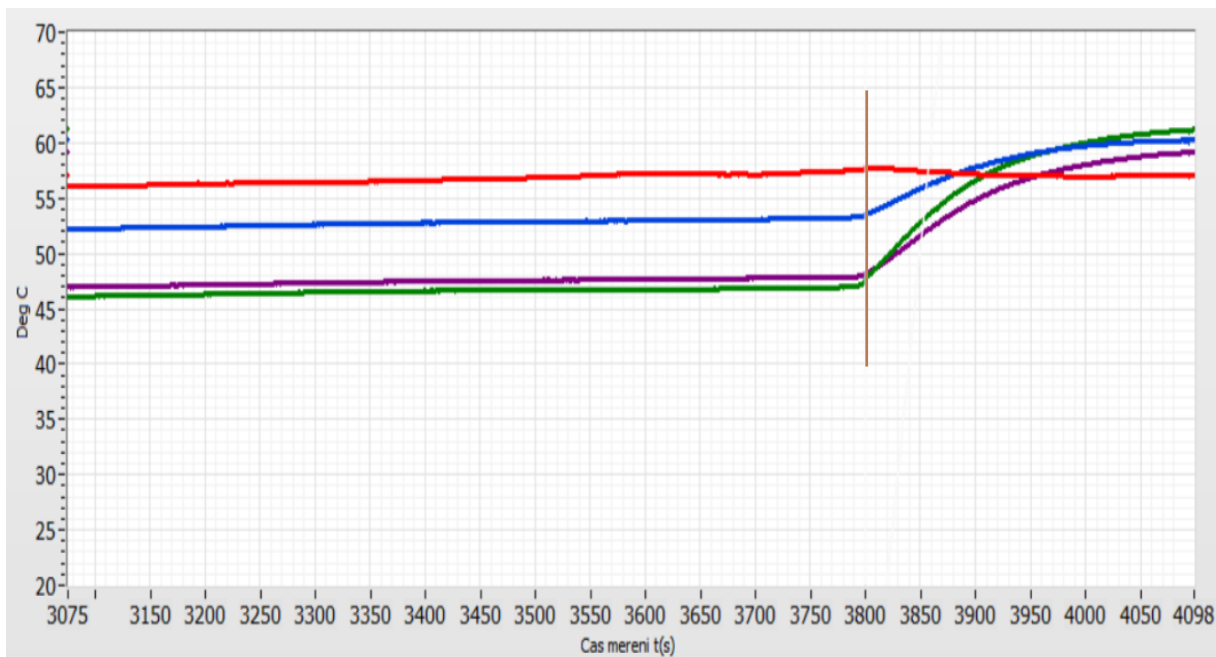


Obr. 26 Pokračovanie teplotného priebehu čidiel v čase 770s (12,83 min)



Obr. 27 Pokračovanie teplotného priebehu čidiel v čase 1187s (19,78 min)

Na obrázku číslo 28 môžeme vidieť, že ihneď po vypnutí stroja časti, ktoré boli teplejšie sa začnú ochladzovať tými chladnejšími a tie chladné začnú odoberať tú teplejšiu stranu, takže môžeme vidieť miesta, ktoré sú u vetráku na spodnej strane, kde sa teplo rozdistribuuje a teda teploty rastú (čidlo 3 a 4). Najvyššia teplota, ktorá je na čidle číslo 1 začne klesať. Zrovnomerňuje sa teda teplota celého stroja, ktorú môžeme vidieť na krivkách, až nakoniec sa to spojí do jednej čiary, ale nie úplne, pretože vždy záleží na súčiniteľu prestupu tepla.



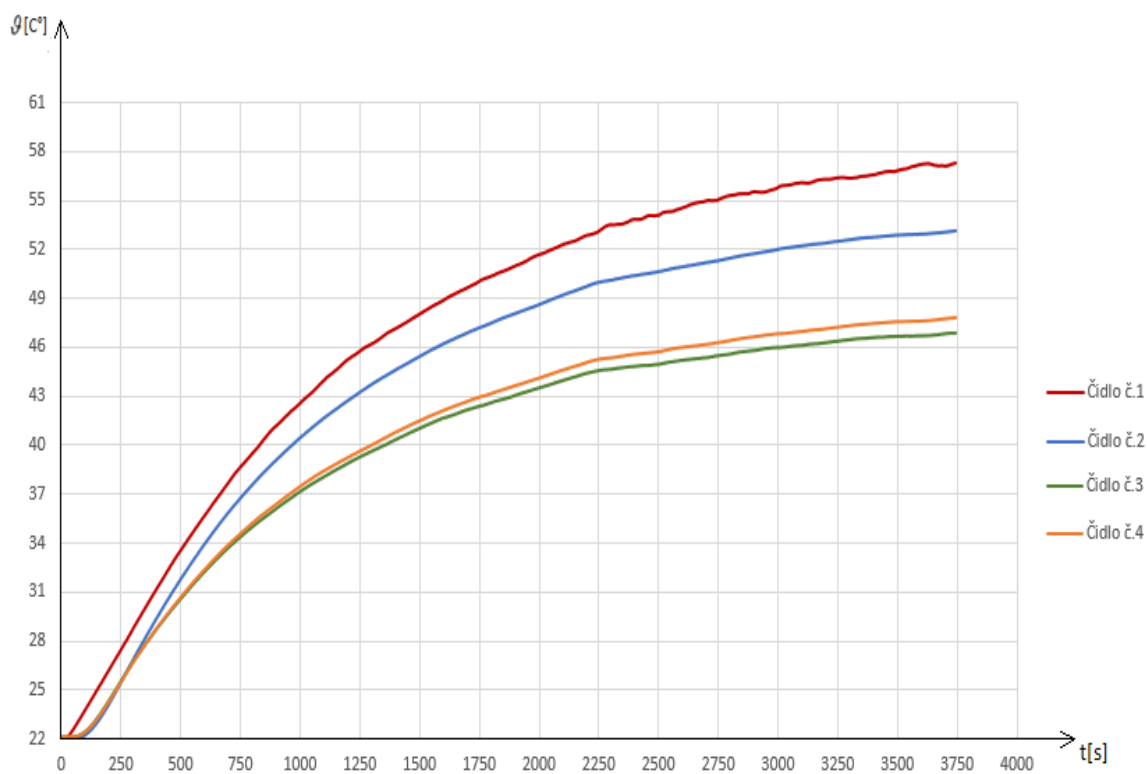
Obr. 28 Záznam po vypnutí motora 3800s (63,33 min)

### 5.3.1 Tabuľka zobrazujúca nárast teploty jednotlivých čidiel

Tab. 2 Záznam nárastu teploty po zapnutí motora po dobu 20 sekúnd:

Čas [s]	Čidlo č. 1	Čidlo č. 2	Čidlo č. 3	Čidlo č. 4
0	21,962	22,038	22,107	22,129
1	21,978	22,034	22,095	22,122
2	21,956	22,031	22,091	22,134
3	21,948	22,032	22,102	22,126
4	21,959	22,021	22,093	22,128
5	21,958	22,028	22,092	22,143
6	21,948	22,037	22,115	22,118
7	21,962	22,031	22,099	22,134
8	21,952	22,024	22,104	22,126
9	21,957	22,033	22,102	22,121
10	21,952	22,041	22,098	22,123
11	21,972	22,029	22,096	22,13
12	21,977	22,03	22,098	22,128
13	21,965	22,019	22,91	22,119
14	21,976	22,026	22,093	22,137
15	21,98	22,031	22,093	22,138
16	21,978	22,026	22,099	22,112
17	21,98	22,037	22,096	22,104
18	22,003	22,036	22,104	22,137
19	22,013	22,039	22,105	22,133
20	22,022	22,016	22,085	22,143

### 5.3.2 Vynesenie otepľovacích kriviek v štyroch miestach merania teploty

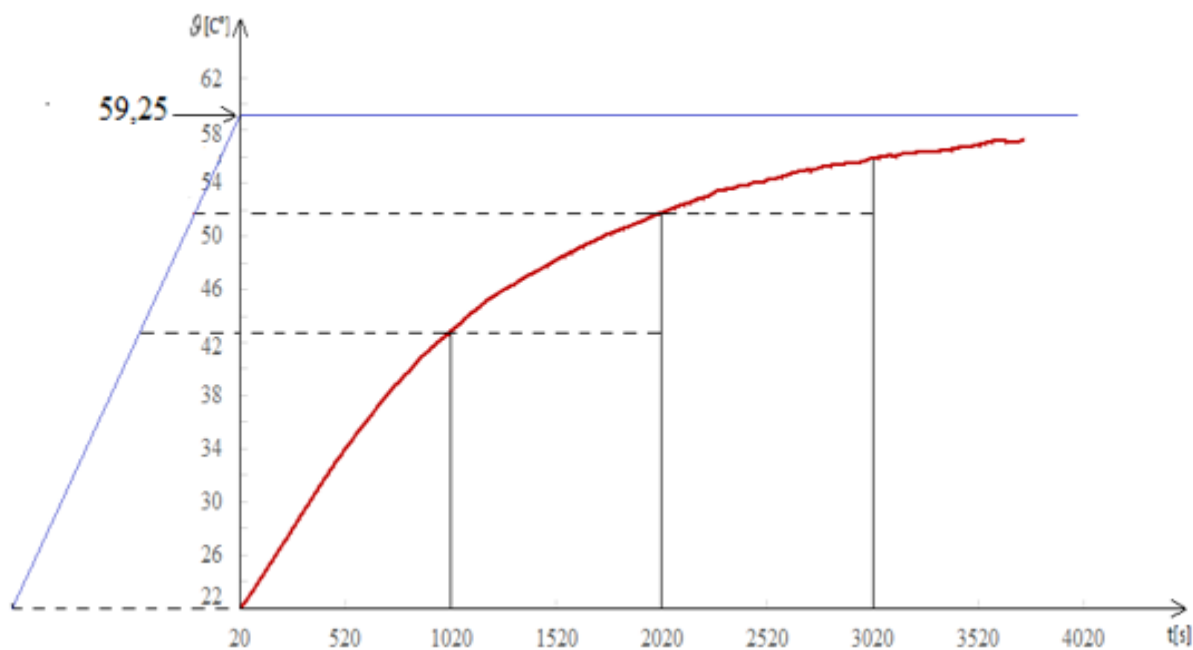


Obr. 29 Priebeh otepľovacích kriviek v čase

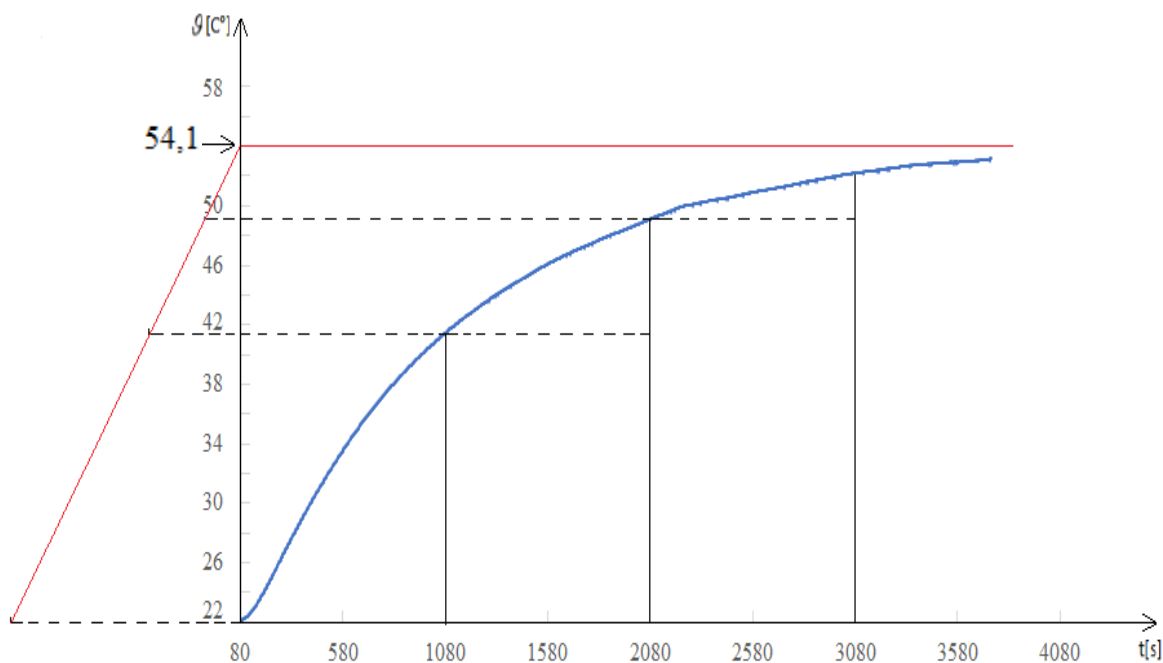
Na obrázku číslo 29 môžeme vidieť teplotný nárast jednotlivých čidiel v čase. Čidlo číslo jedna nám vyobrazuje priebeh, ktorý dosiahol najvyššiu teplotu počas doby merania teploty konštrukčných častí motora. Táto teplota bola zaznamenaná na zadnej strane motoru na ložiskovom štíte, v ktorom je uložené ložisko. Druhá najvyššia teplota bola zaznamenaná v mieste svorkovnice, kde sa nachádzalo čidlo číslo dva. Čidlo číslo tri nám zobrazuje priebeh s najnižšou teplotou. To je zapríčinené umiestnením čidla, ktoré sa nachádza na výstupe z vrtule ventilátoru, cez ktorý prúdi studený vzduch z okolitého prostredia do vstupných rebier. Posledné čidlo číslo štyri sa nachádza u patky v mieste, kde vzduch nemôže prúdiť, pretože tam je technologická zahĺbenina, kde sa skrutkuje kostra stroja k prednému ložiskovému štítu.

## 5.4 Konštrukčné prevedenie ustálenej hodnoty oteplenia

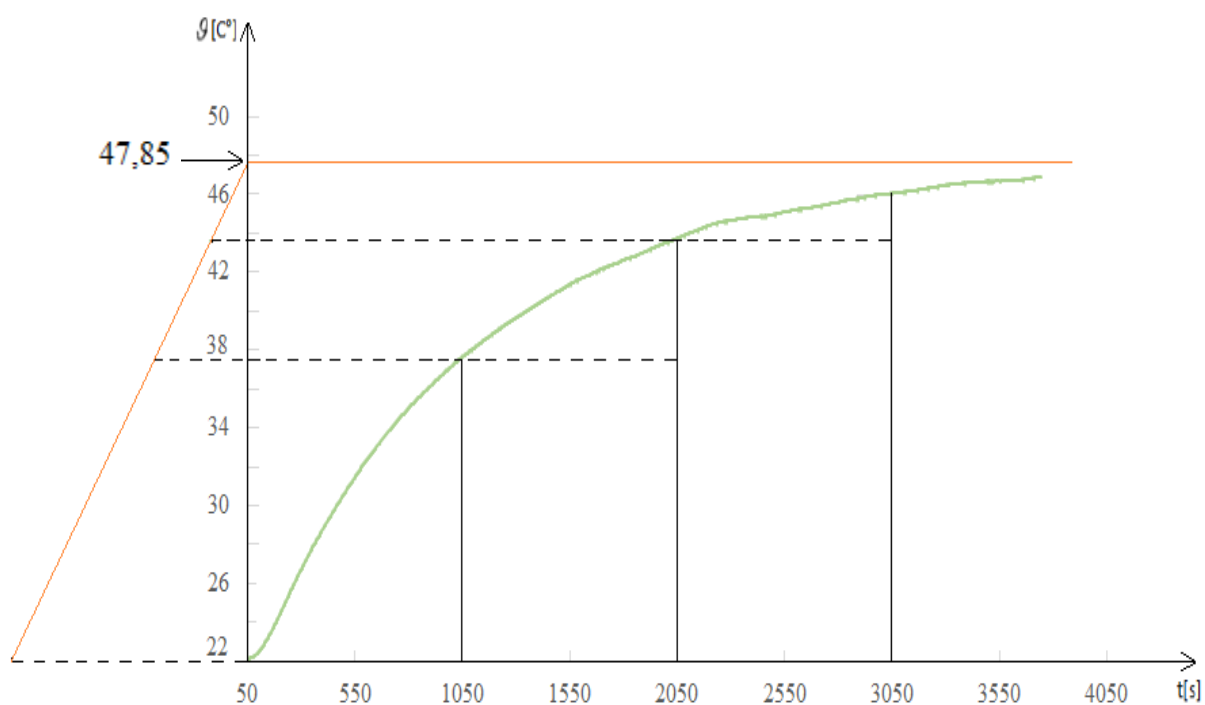
V tejto podkapitole je vyobrazené konštrukčné prevedenie ustálenej hodnoty jednotlivých čidiel, ktoré bolo nutné skonštruovať, pretože počas doby merania sme sa k ustálenej hodnote nedostali.



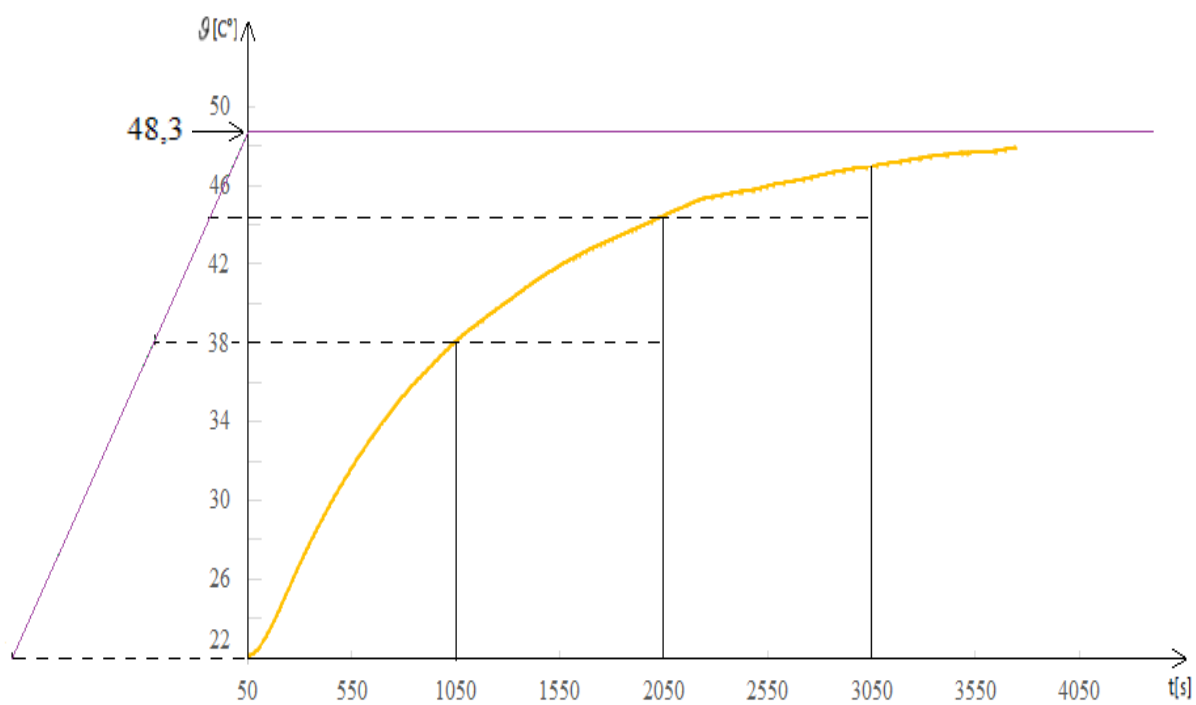
Obr. 30 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s najvyššou teplotou



Obr. 31 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s druhou najvyššou teplotou



Obr. 32 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s najnižšou teplotou



Obr. 33 Ustálená hodnota oteplenia: krivka s treťou najvyššou teplotou



#### 5.4.1 Tabuľka ustálených hodnôt jednotlivých čidiel

V tabuľke číslo 3. sa nachádzajú jednotlivé teploty všetkých štyroch čidiel, ktoré boli dosiahnuté po konštrukčnom prevedení ustálenej hodnoty oteplenia.

*Tab. 3 Tabuľka ustálených hodnôt teploty:*

Číslo čidla	1	2	3	4
Ustálená teplota	59,25	54,1	47,85	48,3

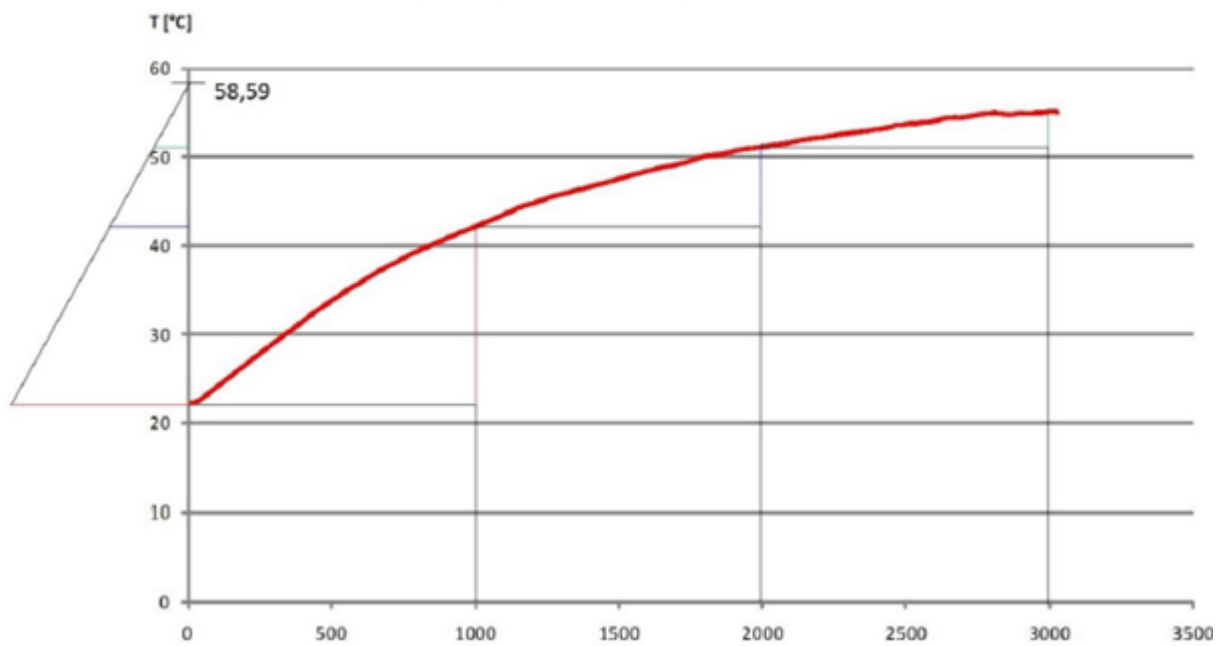
## Záver

Hlavnou úlohou tejto práce bolo meranie oteplenia vo vybraných miestach asynchrónneho motoru značky Siemens o výkone 2,2 kW pri menovitom zaťažení. Napájanie motoru bolo realizované meničom značky VACON s výkonom 10kW. Pri meraní sme sa snažili udržiavať výkon na konštantnej hodnote, čo sa moc nedarilo, takže môžu byť malé odchýlky. Na začiatku merania bola hodnota teploty všetkých čidiel okolo 22° C. Toto meranie prebiehalo v laboratórií po dobu 65 minút.

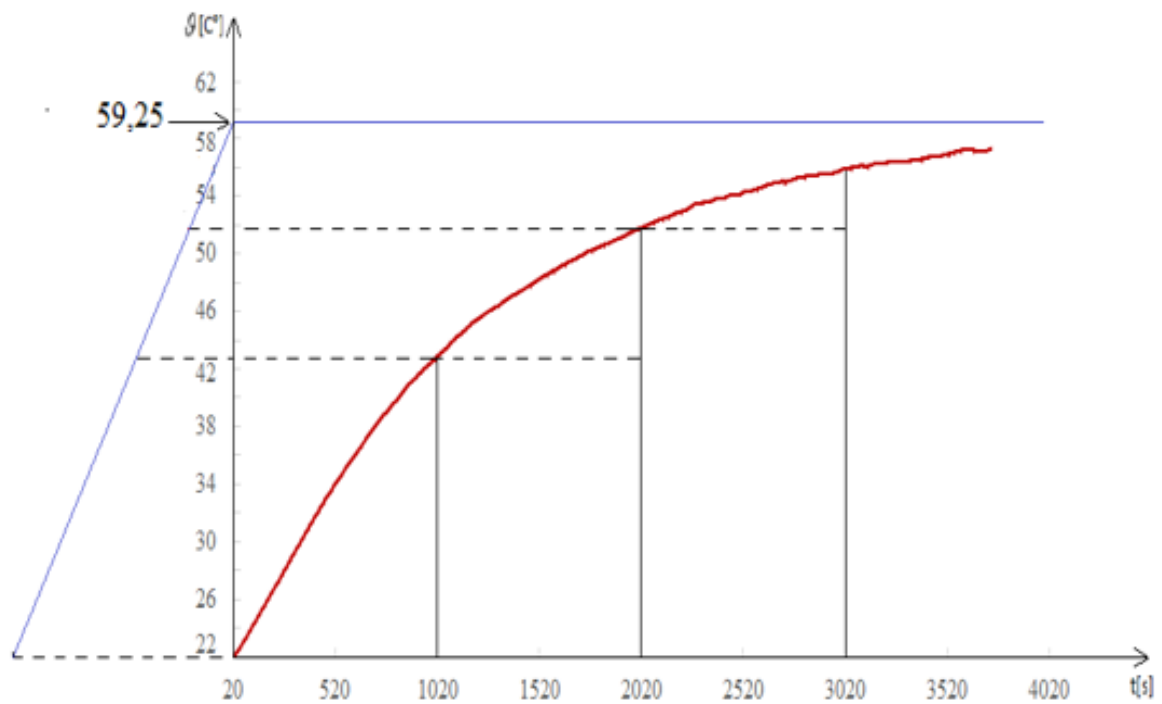
U merania veličín bolo potrebné ihneď nastaviť hodnoty na 100%. Jedná sa o to, aby sme dosiahli vždy 100% výkon. Na obrázku číslo 23 môžeme vidieť záznam menovitých hodnôt, ktorý tu počas priebehu merania pribúdala. V tabuľke číslo jedna sú zapísané menovité hodnoty, ktoré do nej počas merania pribúdali. Obrázok číslo 25 nám zobrazuje grafický nárast teploty jednotlivých čidiel v čase. Ako tu môžeme vidieť od spustenia motora sa na prvé miesto dostáva krivka s červenou farbou, ktorá prezentuje čidlo číslo 1. Poloha tohto čidla je v blízkosti ložiskového štítu. Obrázok číslo 29 nám graficky vykreslil samotný priebeh čidiel počas celej doby merania. Počas merania sme dosiahli teploty v jednotlivých meracích miestach, ktoré sú uvedené v tabuľke číslo 2.

Ustálené oteplenie sme neboli schopný domerať, pretože sme sa k nemu počas celej doby merania nedostali. Takže bolo nutné graficky zostrojiť krivku ustálenej hodnoty. Na obrázkoch číslo 30 až 33 môžeme vidieť túto konštrukciu. Obrázok číslo 30 nám zachytáva ustálenú hodnotu oteplenia pre čidlo číslo 1, ktoré bolo umiestnené na ložiskovom štíte, v ktorom je uložené ložisko. Najnižšia hodnota oteplenia bola zaznamenaná na obrázku číslo 32, teda na treťom čidle, ktoré bolo umiestnené na výstupe z vrtule ventilátoru. V tabuľke číslo 3 sú zaznamenané hodnoty ustálených oteplení pre jednotlivé čidla.

Pre porovnanie sme použili charakteristiku ustálenej hodnoty oteplenia od kolegu, ktorý mal rovnaké meracie body ako v mojom prípade, lenže motor bol napájaný zo siete. Vybral som si priebeh z najvyššou ustálenou hodnotou oteplenia, ktorá bola zaznamenaná na čidle číslo 1. Prvý priebeh nám znázorňuje ustálenú hodnotu oteplenia pri napájaní zo siete a druhý priebeh ustálenú hodnotu pri napájaní z meniča. Pri napájaní zo siete je oteplenie o niečo menšie, čo môže byť spôsobené napríklad výskytom harmonických vyššieho rádu. Teplotná hodnota sa líši o 0,66 °C



Obr. 35 Konštrukcia ustálenej hodnoty oteplenia napájanie zo siete



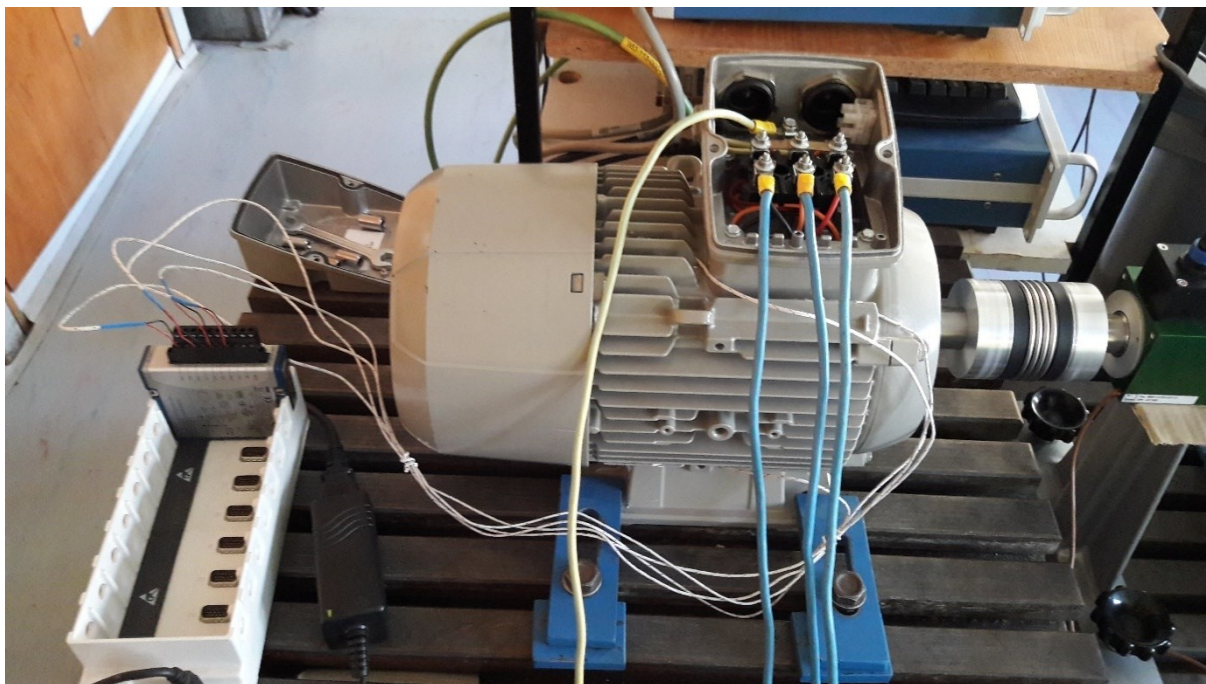
Obr. 34 Konštrukcia ustálenej hodnoty oteplenia napájanie z meniča

Takéto meranie oteplenia je samozrejme nedostatočné, pretože chýbajú informácie z vnútornej časti stroja. Do budúcnosti by chcelo meranie rozšíriť o záznamy teplôt z vnútra asynchrónneho motora napríklad na čelách vinutí alebo z drážky uprostred statoru.

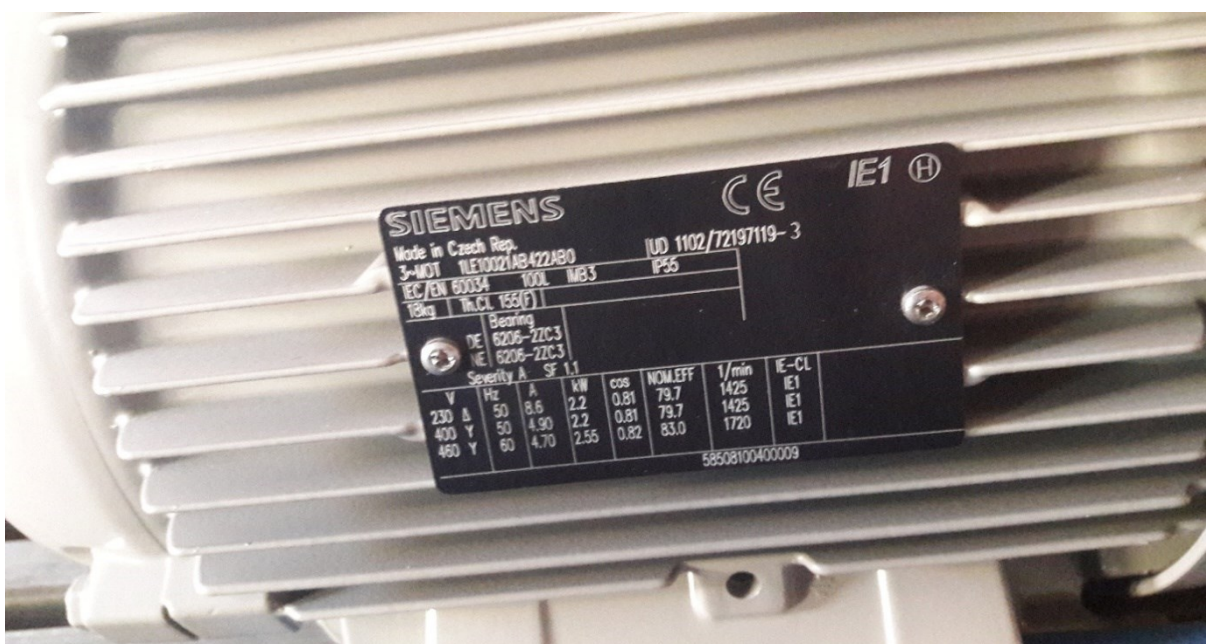
## Zoznam použitej literatúry

- [1] KOCMAN, Stanislav a Ctirad KOUDELKA. *Asynchronní stroje* [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/Asynchronni%20stroje-FAST.pdf> VŠB– TU Ostrava.
- [2] *Asynchronní motor* [online]. In: . [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/6239-2380161.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/6239-2380161.jpg)
- [3] CHMELÍK, Karel. *Asynchronní a synchronní elektrické stroje*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0025-X.
- [4] VAVŘIŇÁK, Petr. *Elektrické stroje a přístroje* [online]. 2006.[cit. 2018-03-28]. Dostupné z: [http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni\\_materialy/elektricke\\_stroje\\_a\\_pristroje.pdf](http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni_materialy/elektricke_stroje_a_pristroje.pdf)
- [5] *Asynchronní motor v reze* [online]. In: . [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://mekelektro.ru/wp-content/uploads/2017/10/9782554.png>
- [6] VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. *Elektromechanické měniče*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04875-7.
- [7] *stator* [online]. In: . [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: [https://store.alternatorparts.com/images/products/detail/200\\_amp\\_ad244.jpg](https://store.alternatorparts.com/images/products/detail/200_amp_ad244.jpg)
- [8] *rotor* [online]. In: . [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Wirnik\\_by\\_Zureks.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Wirnik_by_Zureks.jpg)
- [9] RUSNOK, Stanislav a Pavel SOBOTA. 2013. *Cvičení z elektrických strojů. 1*. Ostrava: VŠB-TOU. ISBN 978-80-248-3288-3
- [10] *mechanická charakteristika asynchronního stroja* [online]. In: . [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: [http://ssmt.sk/projekty/sous/zavadzanie%20it/studijne\\_materialy/Elektricke%20pohony%20konstrukcie%20a%20meranie.pdf](http://ssmt.sk/projekty/sous/zavadzanie%20it/studijne_materialy/Elektricke%20pohony%20konstrukcie%20a%20meranie.pdf)
- [11] *Asynchronní stroje* [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://www.spse.dobruska.cz/download/sokol/AM.pdf>
- [12] POLIAK, František, Viliam FEDÁK a Ladislav ZBORAY. *Elektrické pohony*. Bratislava: Alfa, 1987.
- [13] *Tepelná problematika elektrických strojov* [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/VSES/Tepeln%C3%A1%20problematika%20elektrick%C3%BDch%20strojov.pdf>
- [14] HAVELKA, Otto. *Elektrické přístroje*: učebnice pro elektrotechnické fakulty vysokých škol technických. Praha: Statní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [15] HAVELKA, Otto. *Elektrické přístroje I*: určeno pro elektrotechnické fakulty vysokých škol technických. Praha: Statní nakladatelství technické literatury, 1974.

## Príloha



*Obr. 36 Asynchronný motor*



*Obr. 37 Štítkové hodnoty asynchronného motora*

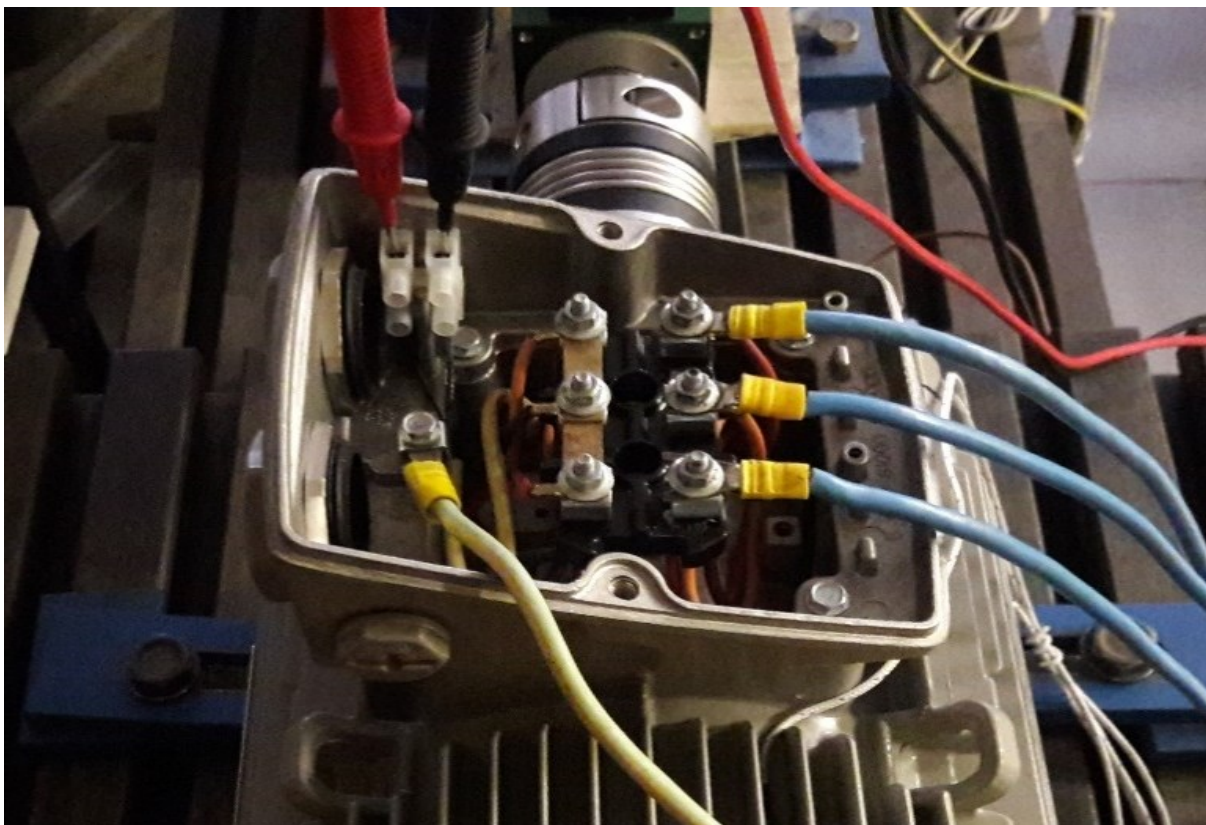




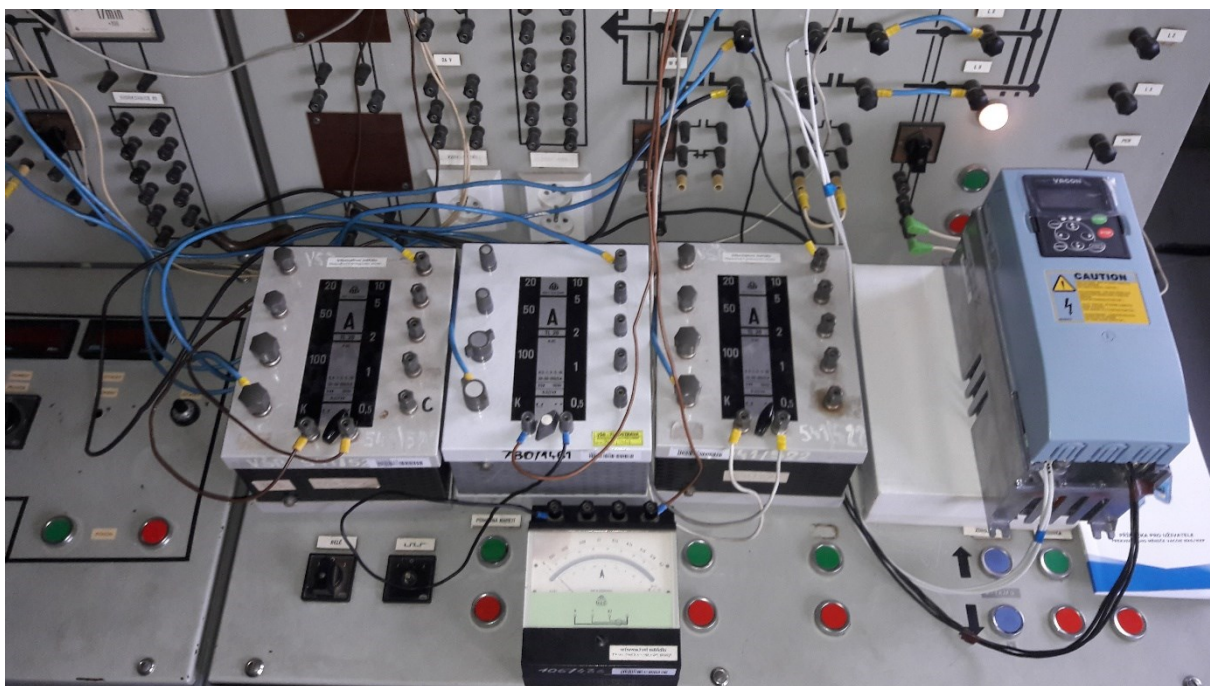
Obr. 39 Dynamometer



Obr. 38 Štítkové hodnoty dynamometra



*Obr. 40 Svorkovnica asynchrónneho motora*



*Obr. 41 Pult s meracími prístrojmi a frekvenčným meničom*